

VISIT...

LANZAROTE
Caliente.COM

А. В. ЧУРБАКОВ



**ЭЛЕКТРОННЫЕ
УСТРОЙСТВА
ДЛЯ ФОТОПЕЧАТИ**

МОСКВА ИЗДАТЕЛЬСТВО ДОСААФ СССР

А. В. ЧУРБАКОВ

ЭЛЕКТРОННЫЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ФОТОПЕЧАТИ

**МОСКВА
ИЗДАТЕЛЬСТВО ДОСААФ СССР
1983**

Рецензент — кандидат технических наук В. И. Верютин

Чурбаков А. В.

493

Электронные устройства для фотопечати. —
М.: ДОСААФ, 1983. — 96 с., ил.
40 к.

В книге даются основные характеристики фотоприемников, используемых в приборах для фотографии, приводятся краткие сведения о сенситометрии и свойствах фотоматериалов, рассматриваются принципы построения электронных устройств для фотопечати.

Большое внимание уделено рассмотрению неавтоматических, полуавтоматических и автоматических устройств, рассчитанных на изготовление фотолюбителями, приведено около 20 практических схем — от простейших до относительно сложных.

Для широкого круга фотолюбителей и специалистов, занимающихся разработкой промышленных приборов для любительской и профессиональной фотографии.

АЛЕКСАНДР ВАСИЛЬЕВИЧ ЧУРБАКОВ

ЭЛЕКТРОННЫЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ФОТОПЕЧАТИ

Заведующий редакцией Г. В. Калишев
Редактор Л. И. Карнозов
Художник А. И. Простов
Художественный редактор Т. А. Хитрова
Технический редактор С. А. Бирюкова
Корректор В. Д. Синёва

ИБ № 1576

Сдано в набор 14.01.83. Подписано в печать 22.09.83. Г-63829. Формат 84×108^{1/2}.
Бумага типографская № 2. Гарнитура литературная. Печать высокая. Усл.
п. л. 5,04. Уч.-изд. л. 5,11. Тираж 200 000 экз. Зак. 3-436. Цена 40 к.
Изд. № 2/п—233.

Ордена «Знак Почета» Издательство ДОСААФ СССР.

129110, Москва, Олимпийский просп., 22.

Отпечатано с матриц на Киевской книжной фабрике. 252054, Киев,
ул. Воровского, 24.

Ч 2403000000—107
072(02)—83 **31—84**

ББК 32.854
6 П9.7

ВВЕДЕНИЕ

В нашей стране за десятую пятилетку было произведено 19 млн. единиц фотоаппаратуры, из них 4,18 млн. зеркальных фотоаппаратов и 0,51 млн. кинокамер. В одиннадцатой пятилетке будет произведено 23,5 млн. единиц фотоаппаратуры, из которых 7,1 млн. зеркальных фотоаппаратов. Большая их часть будет оснащена различными электронными устройствами.

В настоящее время нет ни одной области человеческой деятельности, где бы не находила применение фотография. Широчайшее распространение она получила и при проведении досуга. Армию фотолюбителей составляют десятки миллионов людей. Фотоаппараты и киносъемочные камеры из сложных вспомогательных средств науки и техники превратились в обыденные предметы потребления широких слоев населения. Создание полуавтоматических и автоматических фотоаппаратов, работа с которыми доступна любому человеку без специальной подготовки, привело, без преувеличения, к возникновению всенародного фото-хобби. Снимать сегодня может практически каждый. В распоряжении любителей широкий выбор фотоаппаратов различных классов, начиная от простейших «Этюдов» и кончая автоматическими «Зенитами-18», снабженными сложными электронными устройствами автоматического измерения и отработки экспозиции.

На сегодняшний день основная масса фотолюбителей печатает фотографии в своих домашних фотолабораториях, так как служба быта пока еще в недостаточной степени освоила этот вид услуг как по объему, так и по качеству. А ведь, как известно, из всех этапов получения фотоснимка — фотосъемка, проявление фотопленки и фотопечать — последний наиболее трудоемкий и требует достаточно высокой квалификации.

Главным помощником для фотолюбителя сейчас является рсле времени. Этот прибор можно свободно приобрести в магазине или изготовить самому, пользуясь публикациями журнала «Радио» или сборника «В помощь радиолюбителю». Несколько иначе обстоит дело с устройствами для определения экспозиции и номера фотобумаги, а также с устройствами для автоматической отработки экспозиции в соответствии с освещенностью наиболее важного участка кадра. Промышленность выпускает экспозиметр типа «Фотон», кадрирующую рамку «Рус» с встроенным автоматом, автомат для фотопечати «Импульс-авто», устройство для определения экспозиции «Экспозир-1». Однако все они не могут в достаточной степени удовлетворить требования современного фотолюбителя.

В то же время существуют достаточно широкие возможности для разработки и изготовления подобных приборов руками самих

фотолюбителей. Основной целью книги и является — вооружить любителей основами знаний в области устройств для автоматического измерения и отработки экспозиции при фотопечати. Но, учитывая, что специальной литературы по данной области техники в нашей стране не выпускалось, она будет весьма полезна и специалистам, занимающимся разработкой промышленных приборов для любительской и профессиональной фотографии.

Книга включает в себя шесть глав. В первой главе даются основные характеристики различных фотоприемников, используемых в приборах для фотографии. Во второй — приводятся краткие сведения о сенситометрии и свойствах фотоматериалов, что необходимо для правильного понимания требований, предъявляемых к электронным устройствам для фотопечати. В третьей — даны основные принципы построения электронных устройств для фотопечати. Третья глава содержит также классификацию электронных устройств для фотопечати. В четвертой — описаны неавтоматические устройства, в пятой — полуавтоматические, а в шестой — автоматические.

В общей сложности в книге описано около 20 практических схем — от простейших до относительно сложных, требующих при их реализации достаточно высокой подготовленности. Книга предоставляет возможность выбирать различные комбинации блоков и узлов в зависимости от имеющейся под рукой элементной базы, от характеристик, которых требуется достичь, и от квалификации. В ней приведено достаточно сведений для разработки любительских и профессиональных приборов для фотопечати.

В заключение хотелось бы сказать, что, разрабатывая приборы для фотопечати, необходимо постоянно помнить о мерах защиты от поражения током сетевого напряжения. Особое внимание на это следует обращать, создавая приборы, не имеющие гальванической развязки от сети, в которых схемы преобразования светового потока в электрический сигнал питаются непосредственно от сети без применения понижающего трансформатора. Все эти схемы благодаря отсутствию трансформатора отличаются минимальными габаритами, но требуют специальных защитных мер от попадания сетевого напряжения на корпус и на органы управления прибором.

ГЛАВА I. ФОТОПРИЕМНИКИ ДЛЯ КИНОФОТОАППАРАТУРЫ

Большинство схем экспонетрических устройств кинофотоаппаратуры построено на фоторезисторах, фотогальванических элементах и фотодиодах, причем последние в силу ряда причин применяются значительно реже, хотя и обладают более высокими техническими показателями. Ознакомимся кратко с основными характеристиками фотоприемников.

ФОТОРЕЗИСТОРЫ

Фоторезисторы относятся к классу фотоприемников с внутренним фотоэффектом, т. е. к фотоприемникам, при освещении которых поглощаемая энергия света сообщается электронам твердого тела, что приводит к изменению их энергетического распределения. В результате в полупроводнике возникают новые носители заряда, способные участвовать в переносе тока. Общая концентрация носителей заряда, а следовательно, и его электропроводность изменяются. Явление же, заключающееся в изменении электропроводности под действием оптического излучения, называется фотопроводимостью.

В металлах оптическое излучение поглощается только свободными электронами проводимости, иначе говоря, проводимость металла при облучении не изменяется и, следовательно, внутренний фотоэффект в них отсутствует. Он присущ только полупроводникам и диэлектрикам.

Фоторезисторы — это полупроводниковые приборы, обладающие свойством фотопроводимости. Из чувствительных к видимому свету фоторезисторов широкое применение нашли фоторезисторы на основе сернистого кадмия и селенистого кадмия.

Селенистокадмиевые фоторезисторы имеют максимум спектральной характеристики в области 0,72 мкм, т. е. на границе видимой и инфракрасной областей спектра. В кинофотоаппаратуре в основном используются сернистокадмиевые фоторезисторы, потому что их спектральная характеристика почти идеально подходит для этих целей.

Явление фотопроводимости в сернистом кадмии обнаружено в 1946 г. С тех пор разработана и выпуска-

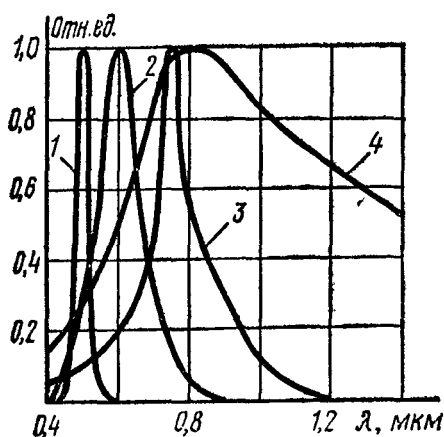


Рис. 1. Спектральные характеристики:

1 — сернистокадмиевого монокристаллического фоторезистора; 2 — сернистокадмиевого прессованного фоторезистора; 3 — селенистокадмиевого фоторезистора; 4 — лампы накаливания

ку человеческого глаза. Черно-белые позитивные материалы не сенсibilизируются. Это объясняется тем, что объектом, подлежащим воспроизведению, для позитивных фотоматериалов служит черно-белый негатив, который не имеет цветовых оттенков, следовательно, необходимость в сенсibilизации, естественно, отпадает.

Отсюда следует, что для черно-белой фотопечати спектральная характеристика фотоприемника может не совпадать со спектральной характеристикой глаза или фотобумаги. Основными условиями являются только перекрытие спектральных характеристик источника излучения (при фотопечати — это лампа накаливания) и фотоприемника, а также равномерное поглощение света негативом во всем спектре. Условия эти выполняются и для сернистокадмиевых и для селенистокадмиевых фоторезисторов.

На рис. 1 показаны спектральные характеристики сернистокадмиевых и селенистокадмиевых фоторезисторов, а также спектральная характеристика источника света типа А, каким приближенно можно считать лампу фотоувеличителя.

Прессованные и пленочные фоторезисторы на сернистом кадмии имеют практически одинаковую спектральную характеристику. Но фоторезисторы на основе монокристалла сернистого кадмия обладают чувстви-

ется широкая номенклатура сернистокадмиевых фоторезисторов. Так, отечественная промышленность производит прессованные фоторезисторы ФСК, пленочные фоторезисторы ФСК-П (ФСК-П1, СФ2-2, СФ3-2, СФ2-1, СФ2-5) и фоторезисторы на основе монокристалла сернистого кадмия ФСК-М.

Сернистокадмиевые фоторезисторы наиболее широко применяются в кинофотоаппаратуре при съемке на негативные материалы, которые в основной своей массе сенсibilизированы под спектральную характеристи-

ностью в сравнительно узком спектре с максимумом в области 0,505 ... 0,51 мкм.

Фоторезисторы характеризуются следующими параметрами:

- $U_{\text{раб}}$ — рабочее напряжение;
- $U_{\text{макс}}$ — максимально допустимое напряжение;
- $P_{\text{макс}}$ — максимально допустимая рассеиваемая мощность;
- R_E — световое (при заданной освещенности E) сопротивление;
- R_T — темновое (при $E=0$) сопротивление;
- $\tau_{\text{н}}$ и $\tau_{\text{сп}}$ — время нарастания и спада сопротивления фоторезистора при ступенчатом изменении входной освещенности;
- γ — наклон люкс-омической характеристики;
- $\delta\gamma$ — отклонение от линейной люкс-омической характеристики;
- S_λ — область спектральной чувствительности;
- $S_{\lambda \text{ макс}}$ — положение максимума спектральной чувствительности;
- рабочий диапазон освещенностей;
- рабочий диапазон температур;
- α — температурный коэффициент светового сопротивления.

Вольт-амперная характеристика (ВАХ)

Отличительная особенность фоторезисторов — наличие линейной ВАХ, так как по своей природе они являются омическими сопротивлениями. На рис. 2 показано семейство ВАХ фоторезистора при различных уровнях освещенности. Видно, что в рабочем диапазоне напряжений все ВАХ линейны. При больших напряжениях наблюдается уменьшение сопротивления вплоть до появления отрицательного дифференциального сопротивления, что обусловлено превышением допустимого уровня мощности, выделяемой на фоторезисторе. В результа-

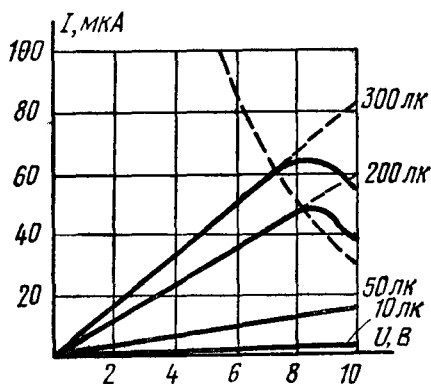


Рис. 2. Семейство вольт-амперных характеристик фоторезистора

те происходит саморазогрев элемента, возникает положительная обратная связь. На рис. 2 зона допустимой мощности обозначена пунктиром.

Люкс-омическая характеристика

Люкс-омическая характеристика — основная характеристика фоторезистора, связывающая величину его сопротивления с входным световым потоком. Очень часто для фоторезисторов используют люкс-амперную характеристику, связывающую величину фототока, протекающего при фиксированном напряжении питания, с входным световым потоком.

Типичная люкс-омическая характеристика в логарифмическом масштабе фоторезистора СФ2-2 приведена на рис. 3.

В большинстве случаев люкс-амперная характеристика фоторезисторов нелинейна. На практике такие характеристики приводятся в виде зависимости приращений светового тока от освещенности (темновой ток вычитается, так как он может быть достаточно велик и маскировать приращения светового тока).

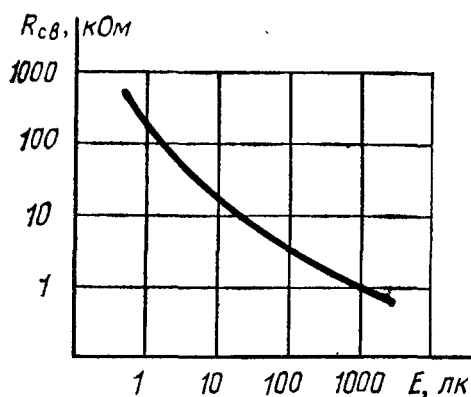


Рис. 3. Люкс-омическая характеристика фоторезистора

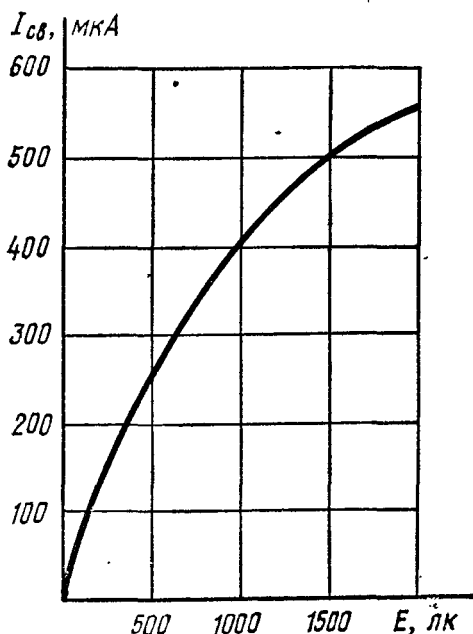


Рис. 4. Люкс-амперная характеристика фоторезистора ФСК-1

На рис. 4 приведена люкс-амперная характеристика фоторезистора ФСК-1. На ее начальном участке наблюдается пропорциональность связи между световым током и освещенностью. Из рис. 5 видно, что начальный участок люкс-амперной характеристики фоторезистора ФСК-1 обладает линейностью до освещенности 50 лк.

В общем же случае практически все типы фоторезисторов обладают нелинейной люкс-амперной характеристикой, которую упрощенно можно представить в виде

$$I_{\phi} = cUE^{\gamma},$$

где I_{ϕ} — фототок; c — постоянная, определяемая свойствами материала; U — напряжение, приложенное к фоторезистору; E — освещенность; γ — коэффициент нелинейности.

В свою очередь полный световой ток $I_{\text{св}}$, протекающий через фоторезистор, равен сумме

$$I_{\text{св}} = I_{\phi} + I_{\text{т}},$$

где $I_{\text{т}}$ — темновой ток, т. е. ток, протекающий через неосвещенный фоторезистор. Он связан следующей зависимостью:

$$I_{\text{т}} = \frac{U}{R_{\text{т}}}.$$

Люкс-омическую характеристику фоторезистора принято описывать выражением

$$R_{\phi} = R_0 \left(\frac{E_0}{E} \right)^{\gamma},$$

где R_0 — сопротивление фоторезистора при освещенности E_0 .

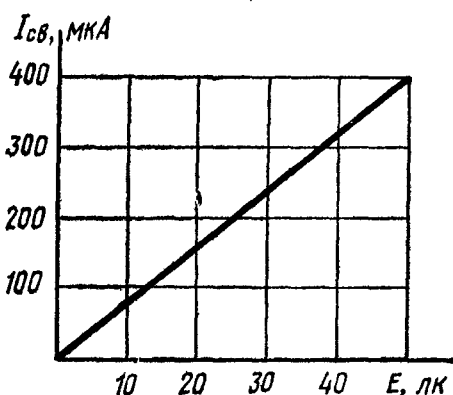


Рис. 5. Начальный участок люкс-амперной характеристики фоторезистора ФСК-1

Инерционность

Обычно инерционность фоторезисторов характеризуется постоянными времени нарастания τ_n и спада τ_{cl} фототока в короткозамкнутой цепи (при низкоомной нагрузке) при освещенности 200 лк.

У всех фоторезисторов постоянные времени нарастания и спада отличаются друг от друга. В большинстве случаев первая превышает вторую в 2 ... 7 раз [4].

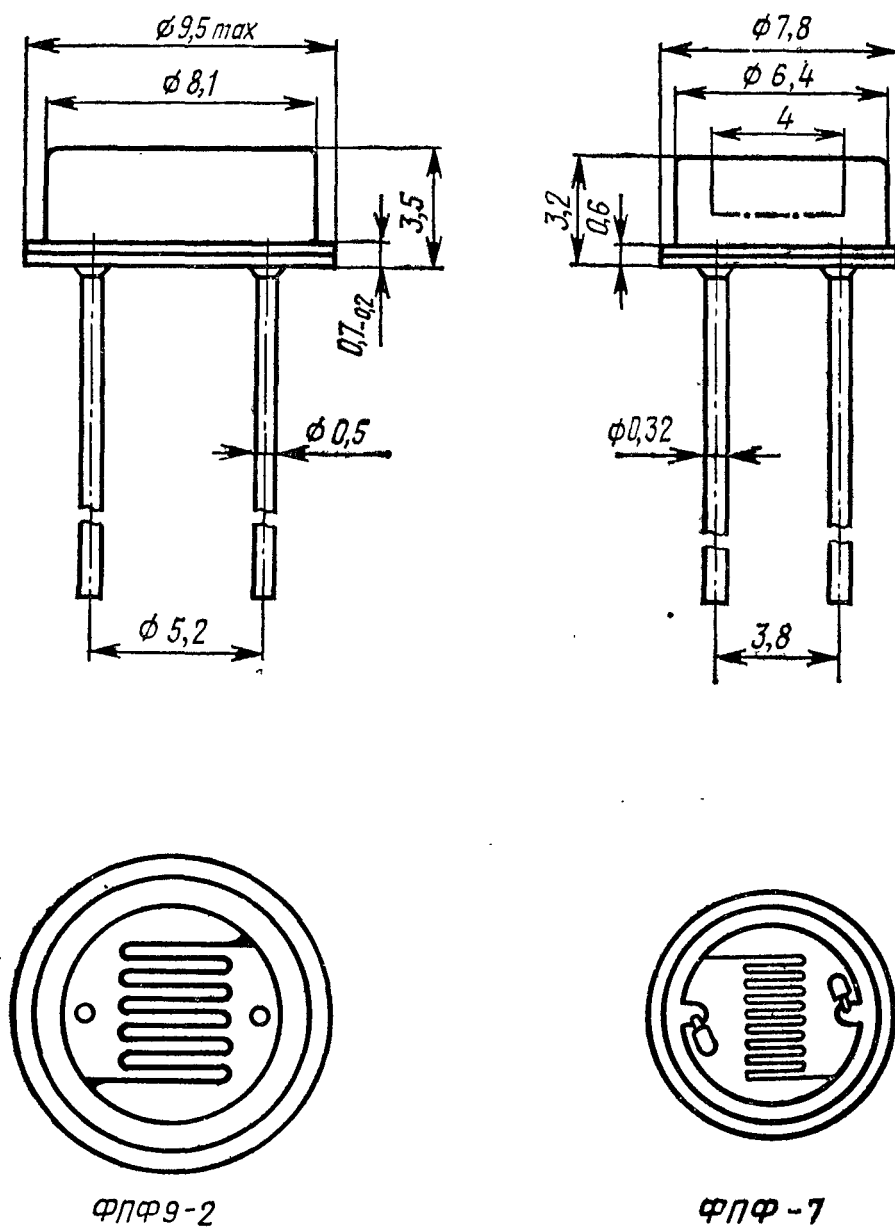


Рис. 6. Конструкции фоторезисторов ФПФ9-2 и ФПФ-7

Фоторезисторы отличаются большим разбросом постоянных времени (например, для одного типа фоторезистора они могут отличаться более чем в 100 раз) и зависимостью их от уровня освещенности, температуры, срока службы, длительностей засветки или затемнения и от других факторов. Причем при увеличении освещенности постоянные времени сокращаются. Например, при 10 лк постоянная времени нарастания пленочных фоторезисторов составляет 280 мс, а при 1000 лк — 14 мс. При низких уровнях освещенности постоянные времени могут достигать единиц секунд и даже более.

Весьма существенно на характеристики фоторезисторов влияет и температура. Однако в силу того, что приборы для фотопечати всегда работают в лабораторных условиях, это влияние незначительно.

Сернистокадмиевые фоторезисторы обладают высокой световой чувствительностью и спектральной характеристикой, которая почти идеально подходит для экспонетрических устройств киноаппаратуры. Именно поэтому они нашли широкое практическое применение. Специально для кинофотоаппаратуры разработаны сернистокадмиевые фоторезисторы СФ2-5, ФПФ-7 и ФПФ9-2.

В табл. 1 приведены основные технические характеристики фоторезисторов ФПФ9-2 и ФПФ-7, а на рис. 6 их конструкция.

Наклон люкс-омической характеристики γ определяется по формуле

$$\gamma = \frac{\lg R_{E_1} - \lg R_{E_2}}{\lg E_2 - \lg E_1},$$

где R_{E_1} и R_{E_2} — световые сопротивления фоторезистора при освещенности соответственно E_1 и E_2 .

Фоторезистор типа СФ2-5 имеет $\gamma = 0,6 \dots 0,9$.

В устройствах для фотопечати могут применяться практически все типы сернистокадмиевых и селенистокадмиевых фоторезисторов. Причем с точки зрения нечувствительности к красному свету, который может попадать от фонаря на фотоприемник, и инерционности наиболее предпочтительны сернистокадмиевые монокристаллические фоторезисторы, а с точки зрения только инерционности — селенистокадмиевые фоторезисторы.

Основные характеристики указанных фоторезисторов приведены в приложении 1.

Таблица 1

Наименование параметра	Обозначение параметра	Типы фоторезисторов			
		ФПФ-9-2	ФПФ-7а	ФПФ-7Б	ФПФ-7В
Рабочее напряжение, В	$U_{\text{раб}}$	6	6	6	6
Максимально допустимое напряжение, В	$U_{\text{макс}}$	20	20	20	20
Максимально допустимая мощность при $+20^{\circ}\text{C}$, мВт	$P_{\text{макс}}$	50	50	50	50
Темновое сопротивление, МОм	$R_{\text{т}}$	—	1	1	3
Световое сопротивление, кОм: при $E=125$ лк	$R_{\text{е}}$	0,57 ... 3,0	—	—	—
$E=4$ лк		3,8 ... 20	—	—	—
$E=0,125$ лк		26 ... 135	—	—	—
$E=10$ лк		—	15	10 ... 25	—
$E=0,1$ лк		—	—	—	≤ 1000
Время нарастания фототока, с: при $E=200$ лк	$\tau_{\text{н}}$	—	0,06	0,06	0,06
$E=0,5$ лк		$\leq 6,5$	—	—	—
$E=1$ лк		—	3	3	—
$E=0,1$ лк		—	—	—	20
Время спада фототока, с: при $E=0,5$ лк	$\tau_{\text{сп}}$	$\leq 7,5$	—	—	—
Наклон люкс-омической характеристики: при $E=1 \dots 10$ лк	γ	—	0,6 ... 0,85	0,86 ... 1	—
$E=0,1 \dots 10$ лк		—	—	—	0,7 ... 1,1
$E > 4$ лк		0,48 ... 0,59	—	—	—
$E < 4$ лк		0,52 ... 0,62	—	—	—
Отклонение от линейности люкс-омической характеристики, %: при $E=1 \dots 1500$ лк	$\delta\gamma$	—	20	20	—
$E=10$ лк		—	—	—	15
$E=0,1 \dots 1500$ лк		—	40	40	—
Рабочий интервал освещенностей, лк		0,1 ... 1500	0,1 ... 1500	0,1 ... 1500	0,1 ... 1500
Область спектральной чувствительности, мкм	S_{λ}	0,4 ... 0,7	0,4 ... 0,7	0,4 ... 0,7	0,4 ... 0,7
Положение максимума спектральной чувствительности, мкм	$S_{\lambda\text{макс}}$	0,54 ... 0,56	0,55 ... 0,6	0,55 ... 0,6	0,55 ... 0,6

Световой ток и фототок у фоторезисторов определяют при рабочем напряжении и освещенности 200 лк.

Учитывая, что фототок пропорционален приложенному напряжению, токовую чувствительность принято характеризовать отношением фототока к световому потоку и напряжению. Значения удельной чувствительности K определяются согласно выражению

$$K = \frac{\Delta I_{\phi}}{\Phi U_{\text{раб}}} \left[\frac{\text{мкА}}{\text{лм} \cdot \text{В}} \right],$$

где Φ — световой поток, падающий на фоторезистор, лм, а также

$$K' = \frac{\Delta I_{\phi} S}{\Phi U_{\text{раб}}} \left[\frac{\text{мкА}}{\text{лк} \cdot \text{В}} \right],$$

где S — площадь светочувствительной поверхности фоторезистора, м^2 .

Более подробно о свойствах и характеристиках фоторезисторов можно прочесть в специальной литературе [1, 4]. Недостатками фоторезисторов с точки зрения автоматических фотореле является их нелинейность, что не позволяет получить прямыми методами пропорциональную связь времени выдержки с освещенностью в достаточно широком диапазоне, и, как уже упоминалось, их инерционность. Этих недостатков лишены фотодиоды.

ФОТОДИОДЫ

К фотодиодам, по существу, относятся три вида фотоприемников: фотоэлементы с внешним фотоэффектом, или вакуумные фотодиоды, представляющие собой электровакуумные приборы с двумя электродами; фотогальванические элементы, называемые еще по традиции вентильными фотоэлементами из-за сходства с вентилями — селеновыми силовыми выпрямителями; монокристаллические полупроводниковые фотодиоды.

На вакуумных фотодиодах можно не останавливаться, так как их применение в экспозиметрах весьма ограничено из-за того, что они требуют высоковольтного питания (100 ... 200 В), накладывающего большие ограничения на конструкцию, которая должна обеспечивать достаточную безопасность в процессе работы. Кроме того, они имеют относительно большие габариты, затрудняющие измерения, и, как правило, не переносят перегрузок по световому потоку, которые могут вывести их из строя. На базе вакуумного фотодиода построен

только встроенный в кадрирующую рамку автомат для фотопечати типа «Рось».

Вентильные фотоэлементы и монокристаллические полупроводниковые фотодиоды по своей сущности весьма близки. Главное их отличие заключается в способности работать с внешним источником смещения.

Полупроводниковый фотодиод представляет собой фотогальванический элемент с $p-n$ переходом, способный работать при обратном смещении, полный ток через который равен

$$I = I_{\Phi} - I_s(e^{DU} - 1),$$

где I_{Φ} — фототок; I_s — обратный ток через $p-n$ переход; U — напряжение на фотодиоде; D — некоторый коэффициент. Причем

$$I_{\Phi} = S\Phi,$$

где S — интегральная токовая чувствительность фотодиода, А/лм.

Семейство вольт-амперных характеристик фотодиода при различных световых потоках приведено на рис. 7. Квадрант I соответствует фотодиодному режиму работы при обратном смещении от внешнего источника напряжения. Квадрант II соответствует вентильному режиму работы без источника смещения.

Из семейства ВАХ и формулы (1) можно заметить, что в вентильном режиме работы у фотодиода отсутствует темновой ток. Причем в режиме короткого замыкания через фотодиод протекает только фототок, который согласно формуле (2) строго пропорционален световому потоку. Фотодиоды в режиме короткого замыкания обладают высокой линейностью в чрезвычайно широком диапазоне (от 10^{-12} до 10^4 лм). В режиме же холостого хода, т. е. при разомкнутой внешней цепи фотодиода ($I=0$), напряжение на фотодиоде пропорционально логарифму от светового потока:

$$U = \frac{1}{C} \ln \left(1 + \frac{S\Phi}{I_s} \right).$$

В фотодиодном режиме и в режиме короткого замыкания инерционность фотодиода составляет $10^{-6} \dots 10^{-7}$ с, т. е. на точности отработки экспозиции в фотореле она практически не отразится. В режиме холостого хода инерционность фотодиода на несколько порядков боль-

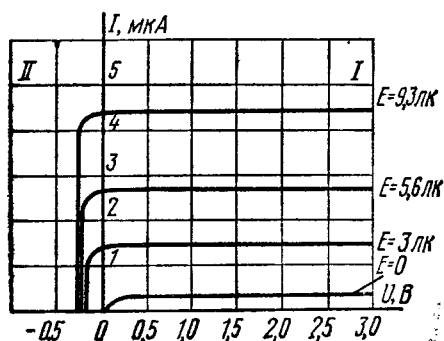


Рис. 7. Семейство вольт-амперных характеристик кремниевого фотодиода

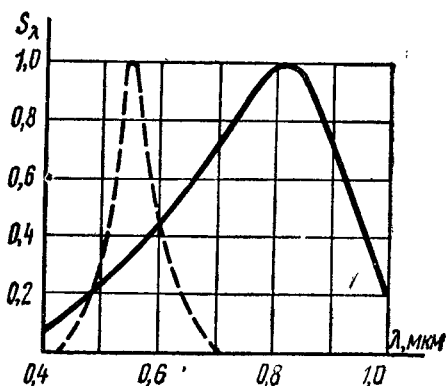


Рис. 8. Спектральная характеристика кремниевого фотодиода (пунктиром показана кривая видности глаза)

ше, и при освещенностях 0,001 ... 0,1 лк она может достигать единиц секунд, что объясняется большой собственной емкостью фотодиода (300 ... 800 пФ) в этом режиме работы.

Спектральная характеристика фотодиодов определяется материалом, на основе которого он изготовлен. Большинство фотодиодов изготавливается на основе монокристалла кремния и реже германия. Спектральная характеристика кремниевых фотодиодов имеет максимум в области 0,8 ... 0,9 мкм, т. е. в инфракрасной области.

Типичная спектральная характеристика кремниевого фотодиода показана на рис. 8. Из рисунка видно, что она значительно не совпадает со спектральной характеристикой глаза (показана пунктиром).

Обычно в экспонетрических устройствах спектральная характеристика фотодиодов корректируется узкополосным интерференционным светофильтром, устанавливаемым перед фотодиодом.

При всех своих достоинствах фотодиод при построении экспонетрических устройств обладает одним крупным недостатком — малой светочувствительностью, которая еще больше снижается при введении светофильтра. В результате предъявляются особые требования к темновым токам фотодиодов, которые должны быть на порядок меньше значений фототоков, соответствующих рабочим освещенностям (для фотоаппаратуры — это от 10^{-3} до 10^4 лк). Ввиду того что реальная чувствительность фотодиодов составляет (5 ... 10) 10^{-10} А/лк, значения темнового тока не должны превышать (3 ... 5)

10^{-12} А. Получение таких малых темновых токов представляет собой сложную задачу.

Большие сложности представляет и усиление подобных сигналов, так как для этого требуются усилители с входными токами порядка 10^{-12} А и особые входные цепи. В результате фотоэлектронные системы на базе фотодиодов дороже, чем на фоторезисторах, но зато обладают высокой точностью, широким динамическим диапазоном, большим быстродействием и высокой стабильностью параметров. Однако, как уже упоминалось, при черно-белой фотопечати от фотоприемника не требуется спектральная характеристика видности, т. е. чувствительность кремниевого фотодиода без светофильтра будет во много раз выше. На рис. 9 представлена световая характеристика кремниевого фотодиода. В приложении 2 приведены основные характеристики некоторых типов фотодиодов.

В кино- и фототехнике широкое применение находят селеновые фотогальванические элементы, что объясняется большой близостью их спектральной характеристики к спектральной характеристике человеческого глаза (кривой видности). На рис. 10 показана типовая спектральная характеристика селенового фотоэлемента [5].

Изготавливают селеновые фотоэлементы путем нанесения термическим испарением в вакууме слоя селена толщиной порядка 1 мм на железную пластинку, предварительно очищенную, шлифованную и матированную. При нагреве заготовки до температуры, близкой к тем-

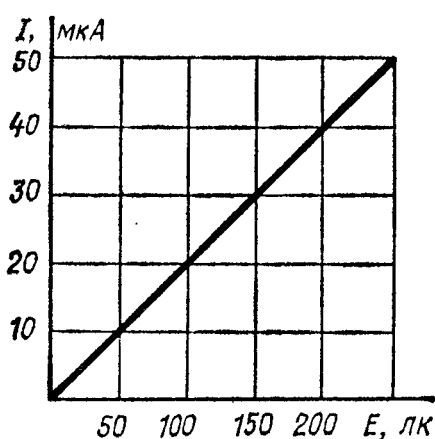


Рис. 9. Люкс-амперная характеристика фотодиода

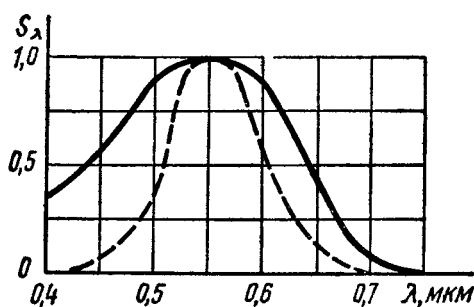


Рис. 10. Спектральная характеристика селенового фотоэлемента (пунктиром показана кривая видности)

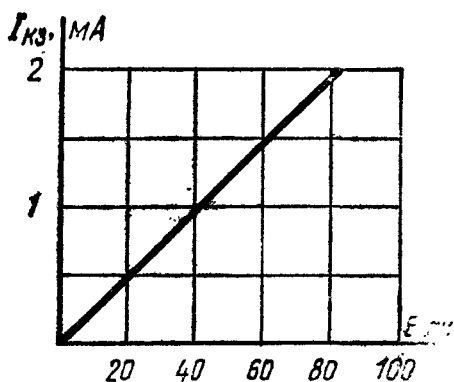


Рис. 11. Люкс-амперная характеристика селенового фотоэлемента в режиме короткого замыкания

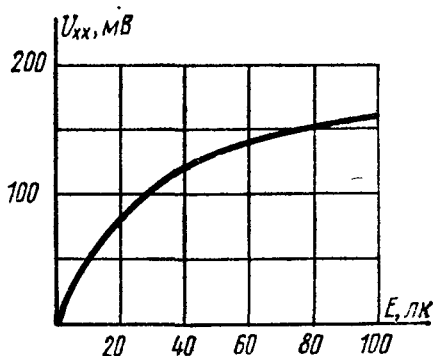


Рис. 12. Световая характеристика селенового фотоэлемента в режиме холостого хода

пературе плавления селена ($200 \dots 210^\circ \text{C}$), последний из аморфного состояния переходит в кристаллическое. Верхний прозрачный электрод катодным распылением наносится на поверхность пленки селена, после чего поверхность защищается пленкой прозрачного лака [5].

Вентильные фотоэлементы на основе пленок полукристаллических полупроводниковых материалов используются, как правило, только в вентильном режиме работы, т. е. без подачи внешнего смещения, так как при фотодиодном режиме вследствие неоднородности структуры и неравномерности толщины они легко пробиваются и выходят из строя.

Так же как и у фотодиодов, ток короткого замыкания вентильных фотоэлементов в широком диапазоне линейно связан с освещенностью (рис. 11), напряжение же холостого хода связано с освещенностью логарифмически (рис. 12).

Селеновые фотоэлементы обычно имеют большую площадь фотоприемной площадки, в результате при малой толщине запирающего слоя они обладают большой емкостью, т. е. большой инерционностью в режиме холостого хода. Но при сопротивлении нагрузки порядка 1 кОм их постоянная времени не превышает $10^{-2} \dots 10^{-3}$ с, чего с запасом достаточно для целей фотопечати. В режиме короткого замыкания быстродействие вентильных фотоэлементов еще выше. Интегральная чувствительность селеновых фотоэлементов составляет $300 \dots 750$ мкА/лм, а фото-э. д. с. при больших освещенностях достигает $0,5 \dots 0,6$ В.

Для экспонометров выпускается ряд селеновых фотоэлементов различной конфигурации (Ф-33С, Ф-34С, Ф-36С и т. д.) с чувствительностью 0,1 ... 0,2 мкА/лк. При наличии высокочувствительного усилителя, обеспечивающего селеновому фотоэлементу режим короткого замыкания, можно строить экспозиметры с диапазоном измерения освещенностей от 0,01 до 10 000 лк.

ГЛАВА II. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О ФОТОГРАФИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛАХ

Один из «секретов» получения высококачественных фотоотпечатков и фотонегативов — это хорошее знание свойств фотографических материалов и тщательный их выбор. Поэтому уместно привести краткие сведения о свойствах фотоматериалов.

Не на всяком фотоматериале можно получить изображение с широкой гаммой тонов или с градацией. Все зависит от его свойства, называемого фотографической широтой. Чем больше фотографическая широта, тем больше число различных друг от друга тонов можно получить на изображении в интервале между самым светлым и самым темным.

Изучением свойств фотографических материалов занимается наука сенситометрия. Сенситометрические методы используются при контроле процессов проявления и печати.

Негатив со ступенчатым возрастанием почернений называется сенситограммой, которая показывает, какие почернения получаются при съемке объектов различной яркости и с различной экспозицией. Для получения сенситограммы фотопленку экспонируют в специальном приборе — сенситометре, представляющем собой лампу накаливания и оптический клин. Оптический клин — это стеклянная пластина, у которой прозрачность изменяется ступенями от одного конца к другому. На рис. 13 показано, как ослабляется свет лампы, проходя через участки оптического клина с различной плотностью [3].

При экспонировании в сенситометре освещенность каждого участка светочувствительного слоя точно известна, причем освещенность каждого следующего поля в 2 раза меньше предыдущего. Почернение фотоматериала получается тем больше, чем сильнее освещенность и чем больше время экспонирования. В сенситометрии

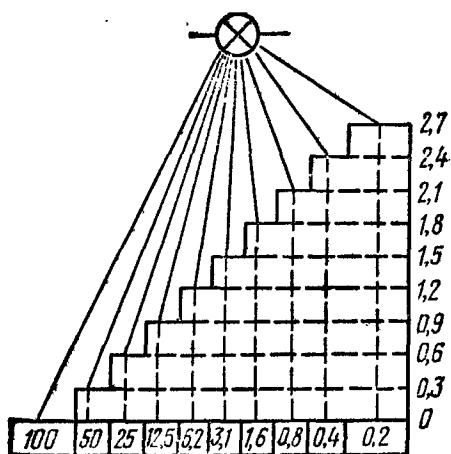


Рис. 13. Сенситометр

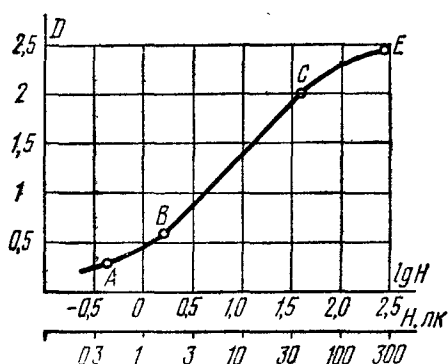


Рис. 14. Характеристическая кривая фотопленки

произведение освещенности E в люксах на время экспонирования t в секундах называется количеством освещения, или экспозицией, и обозначается буквой H .

В сенситометре все поля сенситограммы экспонируются одновременно с одной выдержкой, т. е. соотношение экспозиций такое же, как и соотношение освещенностей.

Сенситограмма дает качественные характеристики фотоматериала. Количественные же характеристики позволяет получить характеристическая кривая, которая представляет собой, по существу, графическую интерпретацию сенситограммы. На рис. 14 изображена характеристическая кривая фотопленки, представляющая собой зависимость степени почернения (оптической плотности) от величины экспозиции в логарифмическом масштабе.

Оптическую плотность определяют с помощью денситометров, предназначенных для измерения фотографического почернения. На сенситограмме измеряют не только оптическую плотность каждого поля, но и оптическую плотность вуали. Величину оптической плотности D выражают через десятичный логарифм отношения световых потоков падающего на фотоматериал Φ_1 и прошедшего его Φ_2 :

$$D = \lg \frac{\Phi_1}{\Phi_2}.$$

Оптическую плотность $D=1$ имеет слой, ослабляющий проходящий свет в десять раз. У малочувствитель-

ных фотопленок оптическая плотность вуали всего 0,02 ... 0,04, что практически не отличается от плотности чистой подложки. Вуаль высокочувствительной фотопленки может достигать 0,2 ... 0,3 единиц плотности. Самые черные места негативов могут иметь плотность более 3 единиц, когда слой пропускает менее 1/1000 части падающего света. В среднем для негативов $D=0,5 \dots 1,5$ [3].

Точка A на характеристической кривой отмечает экспозицию $H_{\text{мин}}$, соответствующую уровню вуали. Уровень, несколько превышающий уровень вуали, называется порогом почернения. Точка E соответствует максимальной оптической плотности $D_{\text{макс}}$ и экспозиции $H_{\text{макс}}$. Выражение $(H_{\text{макс}} - H_{\text{мин}}) = L_{\text{полн}}$ называется полным интервалом экспозиций и показывает, какой интервал яркостей может быть воспроизведен фотоматериалом во всем диапазоне плотностей. Но из-за нелинейности характеристической кривой хорошее изображение можно получить только на прямолинейном участке BC , называемом фотографической шириной L :

$$L = \lg H_2 - \lg H_1.$$

Мерой контраста фотографического материала γ является тангенс угла наклона характеристической кривой:

$$\gamma = \frac{\Delta D}{\Delta \lg H} \text{ — коэффициент контраста.}$$

Контраст изображения в значительной степени зависит от времени проявления. Он растет с увеличением этого времени до тех пор, пока вуаль не начнет расти быстрее и не сделает светлые участки более темными, т. е. уменьшит контраст.

Светочувствительность фотоматериала определяется величиной экспозиции, требующейся для получения оптической плотности D на 0,85 единицы больше плотности вуали D_0 . Для определения светочувствительности S в единицах ГОСТ служит выражение

$$S = \frac{10}{H_{D=0,85+D_0}}.$$

Позитивные фотоматериалы в отличие от негативных обладают меньшей чувствительностью и зернистостью, они несенсибилизированы, имеют большую разрешаю-

щую способность, высокий контраст и малую фотографическую широту. Позитивные фотоматериалы на прозрачной подложке — диапозитивные фотопластинки и позитивная фото- и киноплёнка — отличаются от фотобумаг величиной максимального фотографического почернения. На прозрачной подложке получается значительно большая степень почернения и больший контраст. Качество изображения на диапозитивах более высокое, чем на фотобумаге.

По степени убывания оптической плотности фотоматериалы можно расположить в такой последовательности:

Диапозитивные фотопластинки		2,5 ... 3,0
Позитивная киноплёнка		2,5 ... 3,0
Фотобумага особоглянцевая		1,7 ... 1,8
Фотобумага гляцевая		1,5 ... 1,7
Фотобумага полуматовая		1,2 ... 1,3
Фотобумага матовая		1,0 ... 1,2

Все диапозитивные фотоматериалы отличаются очень малой вуалью, а следовательно, широкой градацией тонов. Но на фотобумаге изображение получается все же с гораздо меньшей градацией, чем на фотоплёнке, несмотря на то, что их фоточувствительные слои практически сходны. Объясняется это тем, что бумажная подложка сильно рассеивает свет и плотность почернения уменьшается. При малой максимальной плотности, например у матовых фотобумаг, весь диапазон почернений также оказывается небольшим, поэтому изображение на фотобумаге всегда менее качественно, чем на диапозитиве.

Из сказанного следует, что для наиболее полного воспроизведения диапазона яркостей изображения фотобумагу необходимо проявлять в течение такого времени, чтобы при отсутствии вуали получилось максимальное почернение. Максимальное отношение яркостей светлого и темного называется интервалом плотностей фотобумаги.

Качеством изображения на диапозитивных фотоматериалах в процессе проявления можно управлять, увеличивая или уменьшая плотность и контраст. При проявлении же фотобумаги сделать это практически невозможно, так как процесс происходит очень быстро и через 2 мин уже достигается максимальное почернение и контраст. Проявляя негативные фотоматериалы, конт-

раст изображения можно увеличить за счет увеличения времени проявления. Если же увеличить время проявления фотобумаги, то контраст, наоборот, снижается, так как почернение уже не будет увеличиваться, а оптическая плотность вуали возрастет. Именно поэтому фотобумагу следует проявлять до достижения максимального почернения, но без появления вуали. На хорошем отпечатке должны быть видны и совершенно белые участки, независимо от их площади, и максимально черные, т. е. возможности фотобумаги должны быть использованы максимально.

Фотобумага позволяет получить изображение только с одним определенным контрастом, поэтому и выпускается семь сортов фотобумаги с различным контрастом. На рис. 15 для наглядности показаны характеристические кривые. Видно, что максимальное почернение у всех сортов фотобумаги одинаково. Отличие заключается в наклоне характеристической кривой и в полезном интервале экспозиций. Для малоконтрастной фотобумаги № 1 $\lg H \approx 1,6$, а для контрастной № 7 $\lg H \approx 0,3$.

Интервал, в котором почернение фотобумаги изменяется от чистого белого тона до максимально черного, называется полезным интервалом экспозиций. Он является самой важной характеристикой фотобумаги и положен в основу ее классификации по фотографическим свойствам. Деление фотобумаги на сорта осуществляется в соответствии с табл. 2.

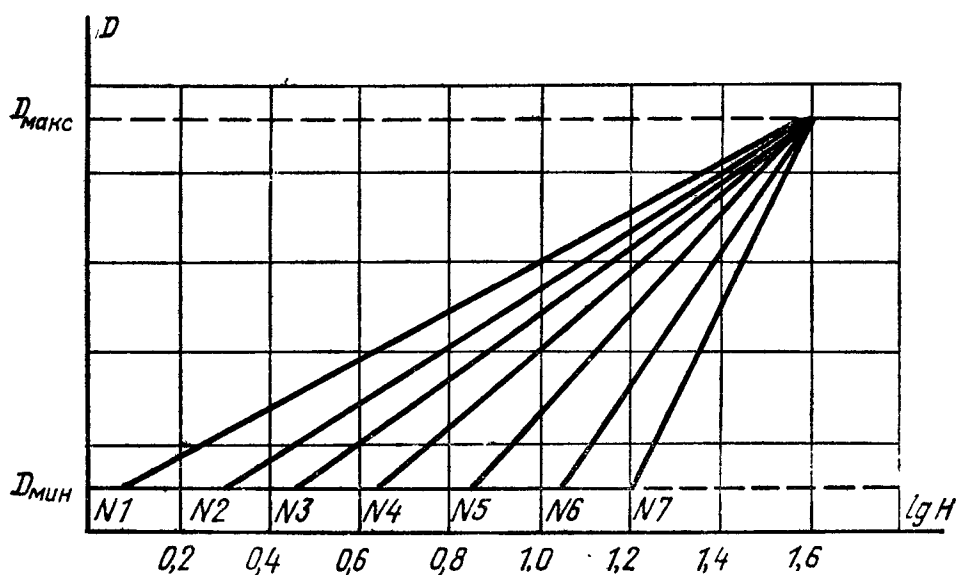


Рис. 15. Семейство характеристических кривых фотобумаги от № 1 до № 7

№ фотобумаги	$\lg H$	Характеристика фотобумаги по контрастности
1	1,6 ... 1,8	Мягкая
2	1,3 ... 1,5	Нормальная
3	1,1 ... 1,2	Нормальная
4	0,9 ... 1,0	Контрастная
5	0,7 ... 0,8	Контрастная
6	0,5 ... 0,6	Особоконтрастная
7	Менее 0,4	Особоконтрастная

В связи с тем, что управлять плотностью и контрастом позитива при проявлении нельзя, то к каждому негативу необходимо подбирать свой сорт бумаги, чтобы получить желаемый контраст на отпечатке.

Контрастность фотобумаг определяется, как и у негативных фотоматериалов, величиной угла наклона между характеристической кривой и осью экспозиций. Но в отличие от них коэффициент контрастности γ зависит не только от свойств эмульсии, но и характера подложки. Так, например, при одной и той же эмульсии и одинаковой экспозиции коэффициент контрастности у матовой фотобумаги меньше, чем у глянцевой, так как на последней можно получить более высокую степень почернения. Поэтому выбирать фотобумагу следует по полезному интервалу экспозиций, который имеет постоянную величину для каждого номера фотобумаги.

Необходимо отметить, что при получении изображения на фотобумаге путем печати с негатива используется практически весь интервал оптических плотностей бумаги, т. е. почти вся характеристическая кривая, а не только ее прямолинейный участок, как у негативных фотоматериалов. Поэтому контраст бумаги определяется не углом наклона прямолинейного участка характеристической кривой, а так называемым средним градиентом кривой, представляющим собой

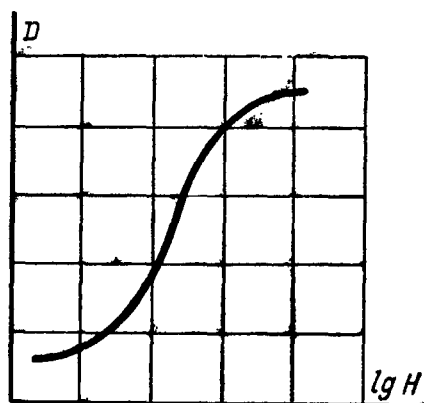


Рис. 16. Реальная форма характеристической кривой фотобумаги

тангенс угла между осью экспозиций и прямой, соединяющей две точки, расположенные в начале и конце характеристической кривой. Такое определение контраста тем более целесообразно, что на характеристических кривых фотобумаг прямолинейный участок почти отсутствует (рис. 16).

В табл. 3 приведена классификация бромосеребряных фотобумаг по степени контрастности.

Таблица 3

№ фотобумаги	Коэффициент контрастности, γ		
	матовая	глянцевая	особоглянцевая
1	1,1 ... 1,2	1,2 ... 1,4	1,4 ... 1,5
2	1,3 ... 1,5	1,5 ... 1,7	1,6 ... 1,9
3	1,6 ... 1,8	1,8 ... 2,0	2,0 ... 2,4
4	1,9 ... 2,1	2,1 ... 2,5	2,5 ... 2,9
5	2,2 ... 2,6	2,6 ... 3,0	3,0 ... 3,9
6	2,7 ... 3,5	3,1 ... 4,0	4,0 ... 4,9
7	Больше 3,6	Больше 4,1	Больше 5

Основные правила выбора фотобумаги к имеющемуся негативу

Как упоминалось ранее, интервал плотностей негатива представляет собой разность оптических плотностей самого темного и самого светлого участков негатива, измеренных денситометром. При наличии определенного опыта негатив можно оценить и на глаз. Негативы с нормальным контрастом имеют средний интервал плотностей 1,0 ... 1,2.

Важно отметить, что негативы с различной плотностью могут иметь одинаковый контраст. Их качество зависит прежде всего от перепада плотностей в изображении, а не от общей плотности. Объясняется это большой фотографической широтой негативных фотоматериалов, в результате чего при съемке на них допустима большая погрешность экспонирования, что недопустимо при съемке на позитивный фотоматериал, обладающий гораздо меньшей фотографической широтой.

При визуальном подборе фотобумаги к негативу обычно используют табл. 4.

Таблица 4

Интервал плотностей негатива	Фотографическая харак- теристика негатива	Требующийся номер фотобумаги
Очень большой	Очень контрастный	Мягкая № 1
Большой	Контрастный	Нормальная № 2
Нормальный	Нормальный	Нормальная № 3
Небольшой	Малоконтрастный	Контрастная № 4
Малый	Вялый	Контрастная № 5
Очень малый	Очень вялый	Особо контрастная № 6 или № 7

Однако объективные данные, конечно, можно получить, только измеряя интервал оптических плотностей ΔD денситометром.

Для объективного выбора сорта фотобумаги необходимо измерить ΔD негатива и с помощью табл. 2 выбрать номер бумаги с $IgH \approx \Delta D$. В этом случае гарантировано отличное качество отпечатка (конечно, при условии правильного выбора экспозиции и времени проявления).

Светочувствительность фотобумаги обычно не указывают, так как на практике в этом нет необходимости: выдержку при печатании определяют путем пробных отпечатков. Но при использовании различных сортов фотобумаги бывает необходимо знать чувствительность для внесения поправок на экспозицию, чтобы сократить расход бумаги на пробы.

Светочувствительность фотобумаги очень мала и для различных сортов колеблется от 0,1 до 10 ... 12 ед. ГОИ (одна единица ГОИ соответствует средней оптической плотности при действии экспозиции в 100 лк·с).

Таблица 5

Название фотобумаги	Светочувствительность, ед. ГОИ	Коэффициент чувствитель- ности относительно фо- тобумаги „Бромпортрет“
«Унибром»	5 ... 10 (высокая)	1,2 ... 0,6
«Фотобром»	8 (высокая)	0,75
«Бромпортрет»	6 (высокая)	1
«Портретная»	5 ... 9 (высокая)	1,2 ... 0,67
«Контабром»	1 (средняя)	6
«Новобром»	0,4 (низкая)	15
«Йодоконт»	0,4 (низкая)	15
«Фотоконт»	— (низкая)	—

В табл. 5 приведены данные по светочувствительности фотобумаг разного типа.

В приложениях 3 ... 7 даны некоторые табличные сведения о фотографических материалах: приложение 3 — черно-белые фото- и киноплёнки общего назначения; приложение 4 — черно-белые фотоплёнки для репродукций; приложение 5 — черно-белые фотобумаги общего назначения; приложение 6 — зарубежные черно-белые фотоплёнки; приложение 7 — зарубежные фотобумаги.

ГЛАВА III. ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ФОТОПЕЧАТИ

КЛАССИФИКАЦИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ФОТОПЕЧАТИ

Процесс фотопечати заключается в том, что сначала измеряют интервал оптических плотностей негатива и по нему определяют полезный интервал экспозиций фотобумаги, а следовательно, и требующийся для этого негатива номер фотобумаги.

Затем измеряют минимальную оптическую плотность негатива в наиболее ответственном участке кадра и в соответствии с ней устанавливают время экспозиции. Обычно это делается относительно пробного отпечатка, наиболее удовлетворяющего фотографа по степени максимального почернения фотобумаги.

По существу процессы определения (выбора) фотобумаги и времени экспозиции независимы. Первый автоматизировать практически нельзя, да в этом и нет необходимости, так как он осуществляется не для каждого негатива. Наибольших затрат времени и фотоматериалов требует второй процесс, так как измерять время экспозиции необходимо для каждого негатива.

Исходя из процесса установки времени экспозиции устройства для фотопечати условно можно разбить на три группы:

неавтоматические (ручные), с помощью которых измерение оптической плотности ответственного участка негатива, вычисление времени экспозиции и установка этого времени производятся вручную;

полуавтоматические, с помощью которых оптическая плотность ответственного участка негатива изме-

руется вручную, а время экспозиции вычисляется и устанавливается автоматически;

автоматические, которые практически без вмешательства фотографа устанавливают время экспозиции.

ОСНОВНЫЕ БЛОКИ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ФОТОПЕЧАТИ

Основными блоками электронных устройств являются денситометр (называемый на практике экспозиметром в силу того, что конечным результатом является время экспозиции) и реле времени (часто называемое таймером) — устройство для отработки заданного интервала времени с коммутирующим устройством на выходе.

Экспозиметр включает в себя фотоприемник, усиленно-преобразовательное устройство, индикатор и, конечно, источник питания (ИП). В простейшем случае он может состоять из фотоприемника, стрелочного прибора (индикатора) и источника питания.

Реле времени (рис. 17) представляет собой пороговое устройство (ПУ) с регулируемым или нерегулируемым порогом включения, в качестве которого обычно используют триггер Шмитта, компаратор или усилитель с большим коэффициентом усиления, ко входу которого подключают времязадающую переменную RC -цепь (чаще всего установку времени осуществляют за счет изменения сопротивления), а к выходу — коммутатор (К).

При измерении экспозиции фотоприемник можно располагать несколькими способами.

Первый способ — установка фотоприемника с достаточно малой светочувствительной площадкой (что необходимо для локального измерения освещенности в ответственном участке кадра) непосредственно на кадрирующей рамке. Это самый точный и гибкий способ, но он требует запоминающего устройства, так как фотоприемник заслоняет часть кадра и на время отработки экспозиции его необходимо убирать.

Второй способ — уста-

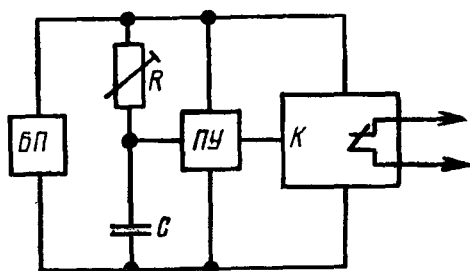


Рис. 17. Функциональная схема реле времени с коммутатором

новка фотоприемника на кадрирующей рамке под фото-бумагой. В этом случае измерение можно производить во время отработки экспозиции. Так фотоприемник установлен в электронной кадрирующей рамке типа «Рось», выпускаемой Черкасским заводом «Фотоприбор». Однако этот способ ограничивает возможности манипуляции фотоприемником, требует относительно сложного держателя и затрудняет ориентацию фотоприемника, так как он скрыт экраном рамки.

Третий способ — установка фотоприемника за объективом, воспринимающим отраженный от фотобумаги (экрана рамки) свет. Объектив должен быть достаточно узкоугольным, чтобы можно было наводить его на ответственный участок кадра. Так как фотоприемник с объективом устанавливается на подвижном кронштейне за пределами кадра, то освещенность может измеряться во время отработки экспозиции. Такой способ использован в автомате для фотопечати «Импульс-авто». Недостаток способа заключается в трудности наведения фотоприемника на требуемый участок кадра.

Но в этом случае может помочь схема, показанная на рис. 18, а, с помощью которой освещенность преобразуется в частоту следования импульсов. В выходную цепь устройства можно включить динамик, телефон или

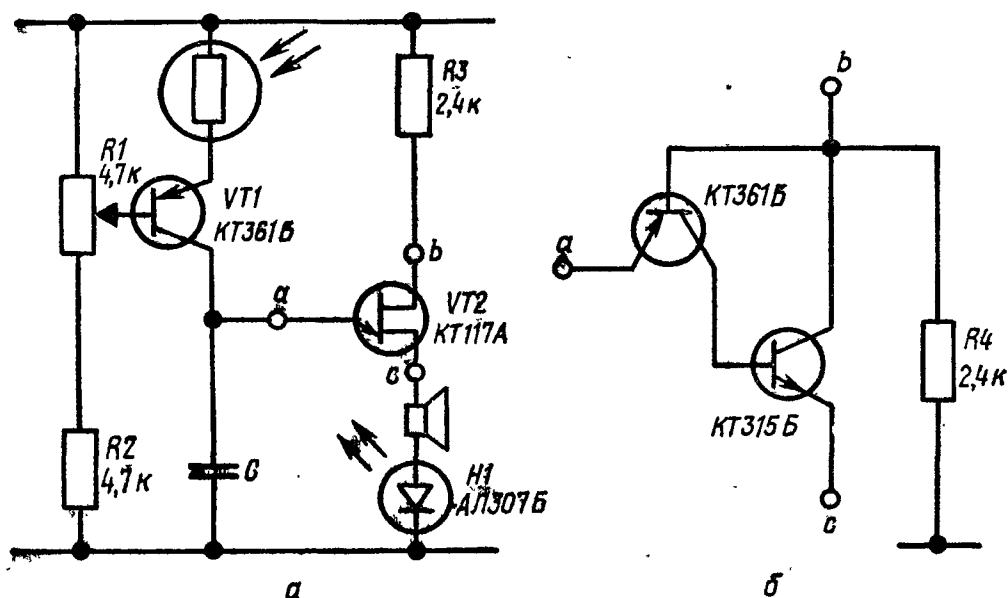


Рис. 18. Принципиальная схема устройства для ориентации фотоприемника с звуковой и световой сигнализацией:

а — на двухбазовом диоде; б — транзисторный аналог двухбазового диода

светодиод красного свечения. На схеме показано одновременное включение динамика и светодиода. По частоте следования импульсов можно условно судить об освещенности, т. е. фиксировать границу участков с различной освещенностью.

Очевидно, что при увеличении освещенности частота возрастает, и наоборот. Звуковая сигнализация более предпочтительна, чем световая, так как частотный спектр зрительного восприятия гораздо уже слухового (частота миганий светодиода выше 100 Гц практически незаметна).

Величину емкости C необходимо подбирать под имеющийся в наличии фоторезистор, а диапазон частот подстраивать переменным резистором $R1$. Вместо транзистора КТ361 может быть использован любой кремниевый $p-n-p$ транзистор (КТ104, КТ347 и т. д.). Вместо двухбазового диода КТ117А может быть использован его транзисторный эквивалент, показанный на рис. 18, б.

Для исключения подвижных механических частей при втором способе размещения фотоприемника можно использовать несколько фотоприемников, расположенных достаточно часто по всему полю кадрирующей рамки. Для выбора требуемого участка кадра служит переключатель, соединяющий фотоприемник с измерительно-преобразовательной цепью. Очевидно, что стоимость устройства в этом случае будет значительно больше.

ГЛАВА IV. НЕАВТОМАТИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ФОТОПЕЧАТИ

ЭКСПОЗИМЕТРЫ ПРЯМОГО ОТСЧЕТА

Очевидно, что все приборы, предназначенные для регистрации параметров, связанных со световыми потоками, построены на базе фотометров, которые в зависимости от способа получения результата измерений можно разделить на фотометры прямого (непосредственного) отсчета и дифференциальные фотометры, основанные на методе сравнения. Последние еще часто называют компенсационными, нулевыми или равновесными схемами.

В данном параграфе рассматриваются схемы простейших экспозиметров, построенных на базе фотомет-

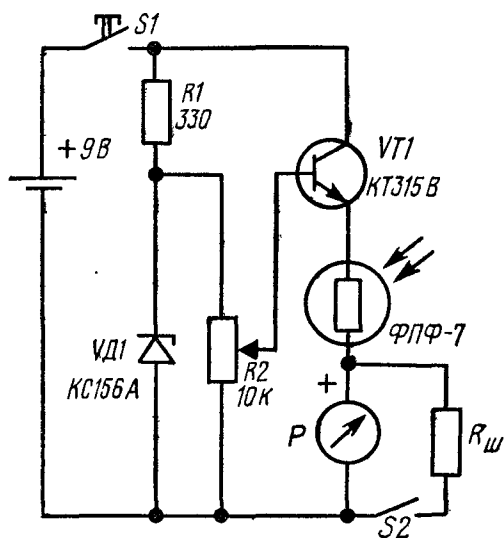


Рис. 19. Принципиальная схема простейшего экспозиметра прямого отсчета

ров прямого отсчета (к ним, например, относятся серийные экспозиметры типа «Фотон-1М»).

На рис. 19 показан пример схемы такого экспозиметра, построенного на фоторезисторе ФПФ-7. Световой поток изменяет сопротивление фоторезистора, подключенного через измерительный прибор P (микроамперметр) к стабилизированному источнику питания с регулируемым выходным напряжением, которое подстраивается под конкретный фоторезистор.

Шкалу микроамперметра обычно размечают в секундах времени экспозиции для наиболее употребимого типа фотобумаги. В случае же использования другого типа фотобумаги время экспозиции пересчитывают по соответствующим коэффициентам (см. табл. 5). Можно также воспользоваться подключением шунтов к микроамперметру или базы транзистора $VT1$ к стабилитрону через делитель с соответствующими коэффициентами деления.

Калибровку экспозиметра в простейшем случае производят следующим образом. Для имеющегося типа фотобумаги подбирают оптимальное время экспозиции при полностью открытой диафрагме объектива фотоувеличителя и нижнем его положении. Измеряют световой ток фоторезистора и отмечают на шкале микроамперметра соответствующее время. Затем передвигают кольцо диафрагмы объектива фотоувеличителя на одну ступень, т. е. уменьшают освещенность фоторезистора в два раза. Значения диафрагмы объектива 4; 5,6; 8; 11; 16; 22 соответствуют изменению выходного светового потока в два раза относительно соседнего значения. Показания микроамперметра в этом случае будут соответствовать удвоенному времени экспозиции (напротив стрелки необходимо сделать соответствующую отметку). Таким образом продвигаются до максимального значе-

ния диафрагмы. После этого снова открывают объектив и увеличитель поднимают до получения последнего значения тока (снижают освещенность за счет коэффициента увеличения). Далее аналогичным образом с помощью диафрагмы продолжают уменьшать освещенность по ступеням. Для практической работы достаточно охватить диапазон времени экспозиций от 1 до 100 с.

Очевидно, что при линейной шкале экспозиметра одной шкалой измерительного прибора такой большой диапазон охватить невозможно. Поэтому все экспозиметры прямого отсчета, как правило, имеют два поддиапазона — от 1 до 10 с и от 10 до 100 с, переключатель диапазонов (на рис. 19 ключ S_2 , подключающий к микроамперметру шунт $R_{ш}$) и две шкалы.

Наличие нескольких диапазонов является одним из недостатков простейших экспозиметров, так как усложняет работу с ними. Кроме того, для выбора номера фотобумаги необходимо измерять времена экспозиций по минимальной и максимальной освещенности, определять их разницу и по специальной таблице выбирать фотобумагу. Достоинство этих экспозиметров — их исключительная простота.

Следует отметить, что в подобных экспозиметрах предпочтительней использовать фоторезисторы с меньшим значением γ (например, типа ФПФ9-2), так как в этом случае снижается диапазон измеряемых токов.

Из люкс-амперной характеристики фоторезистора следует, что при отсутствии освещенности через него течет темновой ток. На рис. 20, а показан начальный участок люкс-амперной характеристики фоторезистора типа ФПФ9-2, который сужает диапазон измеряемых токов.

На рис. 21 изображена схема экспозиметра прямого отсчета с цепью, компенсирующей темновой ток. Фоторезистор включен в эмиттерную цепь транзистора VT_3 , в результате чего микроамперметр оказывается в цепи с большим дифференциальным сопротивлением (источника тока). К коллектору транзистора VT_3 подключен коллектор транзистора VT_4 , который вместе с транзистором VT_2 образует так называемый «отражатель тока» (его еще называют «токовым зеркалом»), обладающий тем свойством, что его входной ток равен выходному. В данном случае транзистор VT_4 так же, как и VT_3 представляет собой источник тока. В результате

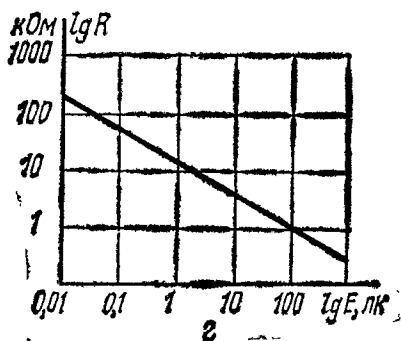
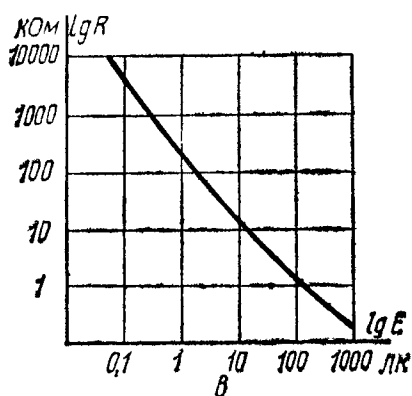
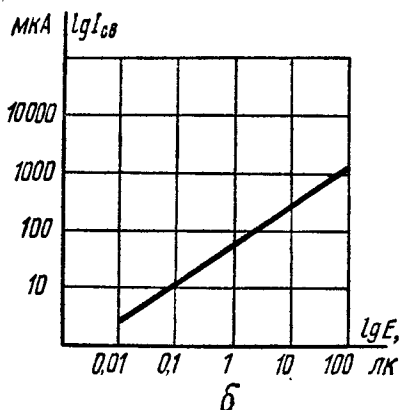
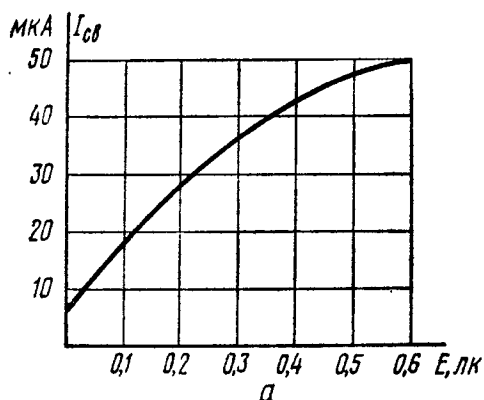


Рис. 20. Световые характеристики фоторезисторов ФПФ9-2 и ФПФ-7:

a — начальный участок люкс-амперной характеристики фоторезистора ФПФ9-2; *б* — полная люкс-амперная характеристика фоторезистора ФПФ9-2; *в* — люкс-омическая характеристика фоторезистора ФПФ-7; *г* — люкс-омическая характеристика фоторезистора ФПФ9-2

ток микроамперметра равен разности коллекторных токов транзисторов *VT3* и *VT4*. Диод *VD2*, смещенный цепью резисторов *R4*, *R5* и *R6*, необходим для обеспечения нормального режима работы транзистора *VT4*. Если бы его не было, то между коллектором и эмиттером транзистора *VT4* было бы приложено напряжение, соответствующее падению напряжения на микроамперметре, которое, как известно, не превышает нескольких десятков милливольт. Этого недостаточно для нормальной работы *VT4*, напряжение на коллекторе которого не должно быть ниже напряжения на базе.

С помощью переменного резистора *R5* устанавливается требуемая чувствительность экспозиметра, а с помощью *R2* компенсируется темновой ток, т. е. устанавли-

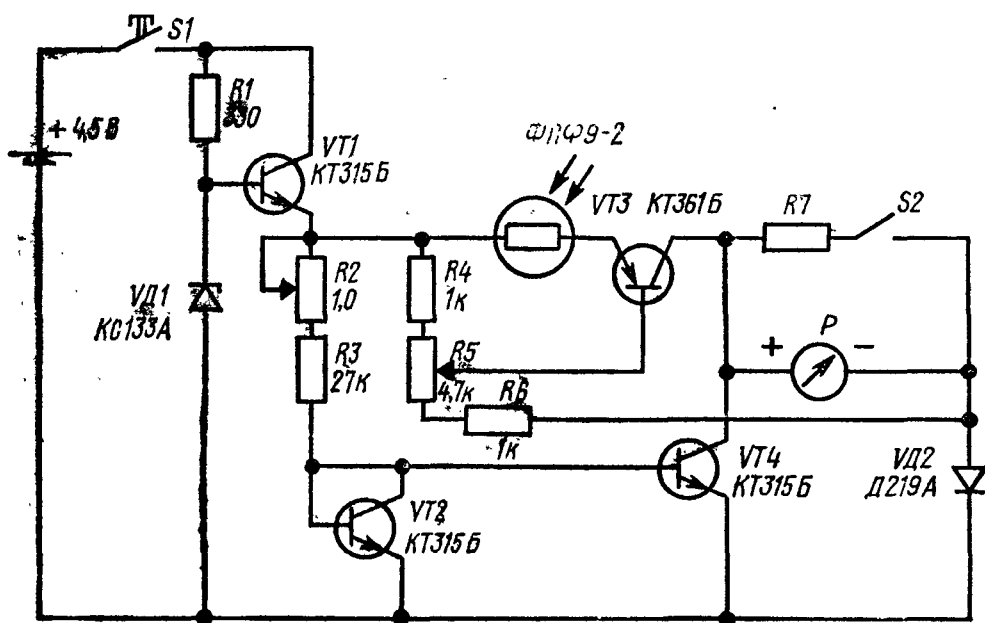


Рис. 21. Принципиальная схема экспозиметра прямого отсчета с компенсацией начального тока

ливаются нулевые показания измерительного прибора при отсутствии освещения. Как и в предыдущей схеме, ключ $S2$ предназначен для выбора диапазона.

Несколько сложнее, но зато значительно удобнее экспозиметры прямого отсчета, построенные на базе денситометра, т. е. с логарифмическим преобразованием сигнала фотоприемника. Схема одного из вариантов такого экспозиметра показана на рис. 22 [6].

Фоторезистор включен на входе логарифмирующего каскада, построенного на диодах $VD2$ и $VD3$. Напряжение на этих двух последовательно включенных диодах пропорционально логарифму тока, протекающего через них, который в свою очередь связан с освещенностью фоторезистора. Усилитель на составном транзисторе $VT3$ и $VT5$ с резистором $R1$ преобразует это напряжение в ток. Таким образом, эмиттерный ток транзистора $VT5$ будет пропорционален освещенности.

Ранее упоминалось, что ток через фоторезистор равен $I_{\Phi} = cUE^{\lambda}$, а для диодов приближенно можно записать

$$U_{\text{д}} \approx d \ln \frac{cUE^{\lambda}}{I_s},$$

где $U_{\text{д}}$ — падение напряжения на диодах $VD2$ и $VD3$; d и c — некоторые постоянные; U — напряжение на фоторезисторе; I_s — обратный ток диодов $VD2$ и $VD3$.

Таким образом, эмиттерный ток $VT5$ приблизительно равен

$$I_5 \approx \frac{d\gamma}{R_1} \ln KE,$$

где $K = \sqrt{\frac{\gamma}{cU}} \cdot \frac{1}{I_s}$. Таким образом, за счет выбора сопротивления резистора $R1$ можно выбрать коэффициент преобразования.

Через микроамперметр P будет течь разность токов I_5 и эмиттерного тока транзистора $VT4$, образующего вместе с $VT6$ «отражатель тока»:

$$I_{ин} = \frac{d\gamma}{R_1} \ln KE - I_4.$$

Назначение диода $VD4$ с резистором $R7$ такое же, как и диода $VD2$ в схеме на рис. 21, — обеспечить нормальный режим работы «отражателя тока» на резисторах $VT4$ и $VT6$. Переменный резистор $R2$ предназначен для установки рабочей точки экспозиметра.

Для повышения коэффициента стабилизации стабилитрон $VD1$ питается через токостабилизирующий двухполюсник, в качестве которого использован полевой

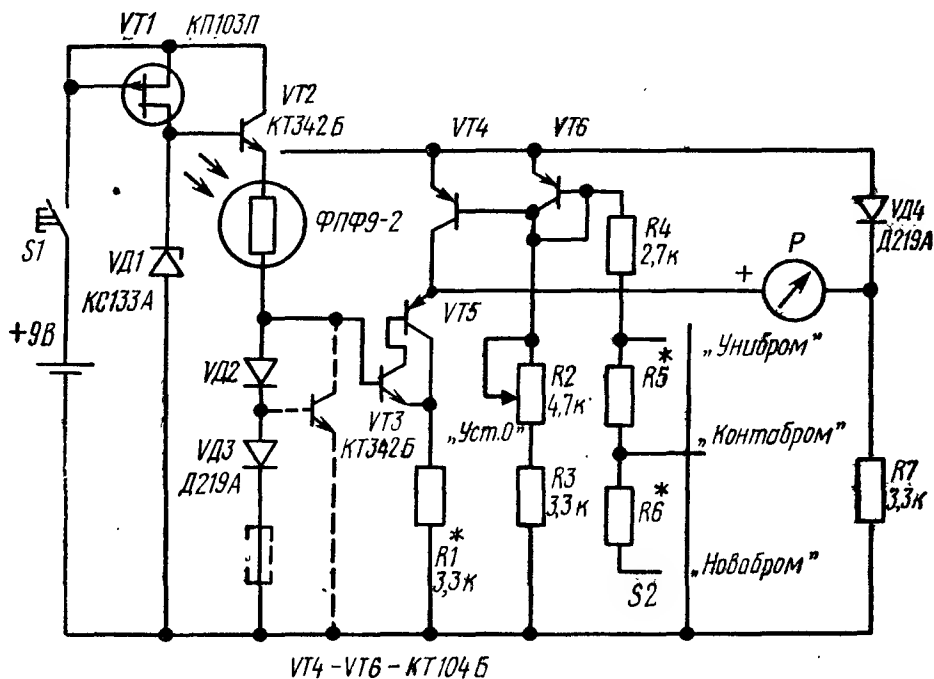


Рис. 22. Принципиальная схема логарифмического экспозиметра прямого отсчета

транзистор *VT1*. Повышение стабильности напряжения обусловлено повышенной чувствительностью логарифмического преобразователя к напряжению питания.

Схема экспозиметра весьма экономична (потребление не превышает 5 ... 10 мА) и, если учесть, что включается она кнопкой только на время измерения, одного комплекта элементов (или батарейки типа «Крона») хватит на 400 ... 600 измерений.

Вместо *n-p-n* и *p-n-p* транзисторов типа КТ342 и КТ104 можно использовать и другие кремниевые транзисторы, например: КТ315, КТ361, КТ313, КТ347, наборы транзисторов серий К198 и К159.

Измерительным прибором может быть любой микроамперметр с пределом измерения 0 ... 50 мкА, для подсветки шкалы которого подойдут миниатюрные лампы накаливания (например, типа НСМ), окрашенные красным лаком, или светодиоды красного свечения АЛ307.

Все сказанное выше справедливо для идеального логарифмирующего элемента, однако диоды обладают удовлетворительными логарифмирующими свойствами только при токах от 10^{-8} до 10^{-4} А. При токах же, превышающих 100 мкА, они эти свойства начинают терять.

Таблица 6

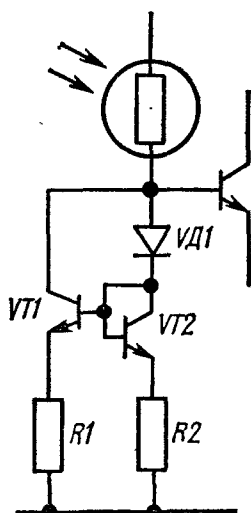
<i>I</i> , мкА	20	40	80	160	320	640	1280	2560	5120
ΔU , мВ	0	70	73	72	79	85	97	113	139

Из табл. 6 видно, что приращение напряжения при токах более 2 мА почти в два раза больше, чем при токах менее 100 мкА, что соответствует ошибке экспозиции 100% (1 ступень).

Конечно, можно было бы соответственно разметить шкалу измерительного прибора, но это не выход, так как эта разметка будет соответствовать только одному положению резистора «Установка 0» *R2*. Оптимально было бы иметь равномерную шкалу во всем диапазоне освещенностей и регулировок.

Рассмотрим схему линеаризации логарифмирующих диодов (рис. 23) [8], в которой использованы два транзистора *VT1* и *VT2*. Суть ее заключается в том, что подбором величины сопротивлений резисторов *R1* и *R2* часть тока источника сигнала отводится в коллектор транзистора *VT1*, минуя логарифмирующие диоды *VD1* и *VT2*. В результате приращения напряжений на диодах вы-

Рис. 23. Принципиальная схема линейризации логарифмического преобразователя



равниваются вплоть до токов 5 ... 10 мА. Например, для фоторезистора ФПФ9-2 с диапазоном изменения сопротивления от 90 кОм до 240 Ом (что соответствует диапазону освещенностей от 0,1 до 2000 лк), резисторов $R1=0$, $R2=51$ Ом и транзисторной сборки (VT1 и VT2) К159НТ1Е приращения напряжений составляют 25 ... 27 мВ на ступень. Схема линейризации экспозиметра на рис. 22 показана пунктиром.

Этот экспозиметр имеет один диапазон измерения, охватывающий с запасом весь диапазон рабочих освещенностей, и двойную шкалу, пример разметки которой показан на рис. 24. Одна шкала времени экспозиции в логарифмическом масштабе, а другая — шкала номеров фотобумаги.

При желании в экспозиметр можно ввести переключатель чувствительности фотобумаги. На схеме это S2, с помощью которого ко входу «отражателя тока» подключается ряд резисторов, подобранных таким образом, чтобы обеспечить соотношение чувствительностей фотобумаг разного типа в соответствии с табл. 5.

Настройка прибора достаточно проста. В правильно собранном приборе надо осветить фоторезистор фотувеличителем с максимально закрытой диафрагмой объектива (например, положение 16). После этого с помощью переменного резистора R2 поставить стрелку микроамперметра по шкале t_s , например напротив 32 с. Для рассматриваемой схемы экспозиметра желательно выбрать чувствительность 5 мкА/ступень, т. е. изменение освещенности в два раза должно давать приращение 5 мкА. Подбор чувствительности обеспечивается резистором R1. При настройке вместо него необходимо впаять переменный резистор 4,7 кОм и вывести его в среднее положение. Переводя диафрагму в два соседних положения (например, в положения 4 и 5,6), т. е. изменяя освещенность фоторезистора в два раза, с помощью резистора R1 необходимо обеспечить приращение тока микроамперметра 5 мкА. После этого следует измерить

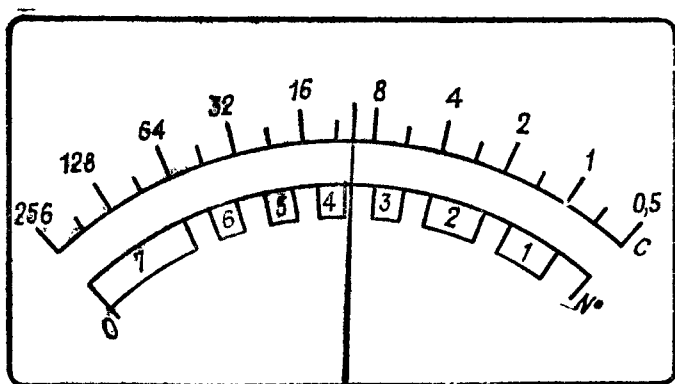


Рис. 24. Пример разметки шкалы измерительного прибора логарифмического экспозиметра

величину сопротивления переменного резистора $R1$ и заменить его на постоянный. На этом, по существу, настройка экспозиметра и заканчивается.

Если есть необходимость в переключателе чувствительности фотобумаги, необходимо подобрать величины двух резисторов $R5$ и $R6$, обеспечить ввод трех значений чувствительности. Коэффициент чувствительности 1,0 соответствует фотобумагам «Унибром», «Фотобром» и «Бромпортрет», 6,0 — «Контабром», а 15,0 — «Новобром», «Йодоконт» и «Фотоконт». Очевидно, что, установив переменным резистором $R2$ (при некоторой освещенности для коэффициента чувствительности 1,0) $t_s = 1$ с, величину резисторов $R5$ и $R6$ необходимо подобрать так, чтобы стрелка установилась в первом случае напротив деления 6 с, а во втором — напротив деления 15 с.

Работа с экспозиметром

Для выбора номера фотобумаги включают увеличитель, устанавливают негатив и помещают фоторезистор в наименее освещенный участок кадра. Нажимают кнопку $S1$ (которую удобно расположить на держателе фоторезистора) и с помощью переменного резистора $R2$ «Уст. 0» устанавливают стрелку микроамперметра в нулевое положение по шкале номеров фотобумаги. Затем перемещают фоторезистор в наиболее освещенный участок кадра. Стрелка микроамперметра покажет номер требующейся для данного негатива фотобумаги.

Время экспозиции определяют сначала путем пробных отпечатков для выбранного типа и номера фотобумаги. Затем устанавливают фоторезистор в наиболее ответственный участок кадра, нажимают на кнопку *S1* и, установив предварительно переключателем *S2* тип фотобумаги, резистором «Уст. 0» по шкале времени экспозиции устанавливают определенное по пробным отпечаткам время экспозиции. При установке фоторезистора в ответственные участки кадра последующих негативов измерительный прибор будет показывать требуемое время экспозиции, а при переключении на другой тип фотобумаги будет вводиться соответствующий коэффициент пропорциональности.

Аналогичен рассмотренному и экспозиметр с логарифмическим преобразованием [2]. В нем использовано свойство фотодиода логарифмировать световой поток в режиме холостого хода. Но из-за малой чувствительности фотодиодов схема экспозиметра (рис. 25) получается значительно сложнее. Для увеличения входного сопротивления усилителя использована согласованная пара полевых транзисторов К504НТ1Б. (Вместо них можно взять согласованную пару полевых транзисторов типа КПС104 или подобранные пары полевых транзисторов типа КП102, КП103). При наличии операционных усилителей серий К544 или К284 с входными токами менее 10^{-9} А можно обойтись и без пары полевых транзисторов.

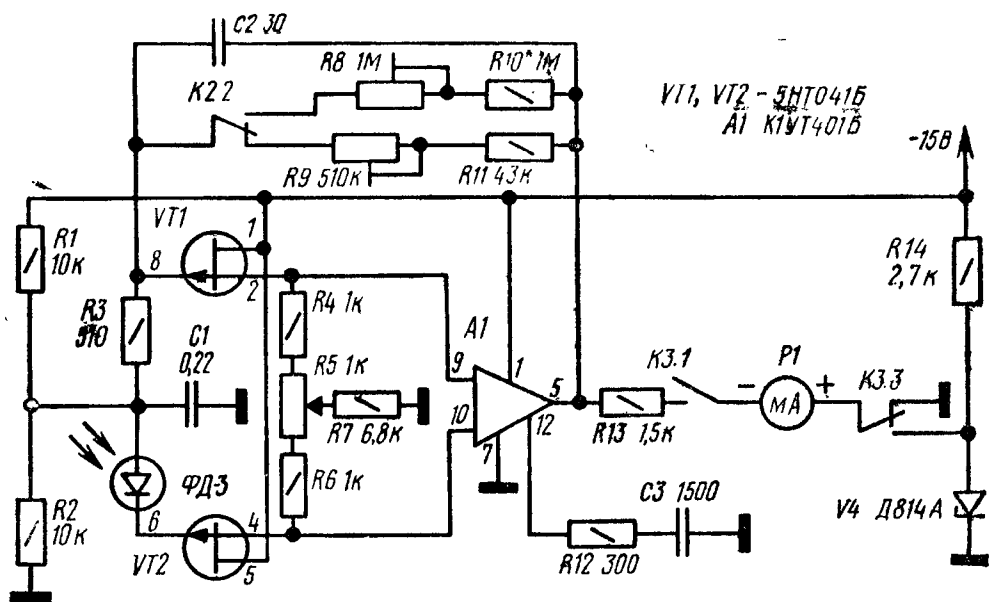


Рис. 25. Принципиальная схема экспозиметра на фотодиоде

Однако в представленном виде экспозиметр на фотодиоде не имеет преимуществ перед рассмотренным ранее экспозиметром на фоторезисторе, наоборот, он уступает ему, так как в нем используется два диапазона, что, как уже говорилось, не совсем удобно, и, кроме того, схема значительно сложнее.

Автор этой схемы, к сожалению, не использовал преимущества фотодиода, заключающегося в том, что он в режиме холостого хода логарифмирует и может при фотопечати обеспечить измерение освещенностей во всем диапазоне без переключения диапазонов. Для этого необходимо было выбрать всего одно значение коэффициента усиления за счет подбора сопротивления обратной связи (вместо резисторов $R8 \dots R11$ взять один резистор), обеспечивающего необходимое приращение напряжения на каждую ступень на выходе усилителя. Иначе говоря, подобрать такую чувствительность, чтобы весь диапазон рабочих освещенностей соответствовал полной шкале измерительного прибора. Выбор же рабочей точки или ввод чувствительностей фотобумаги может быть просто осуществлен регулировкой напряжения на втором выводе измерительного прибора (на рис. 25 это плюсовой вывод). Следует отметить, что в данном случае вместо фотодиода может использоваться и селеновый фотоэлемент.

Можно было бы привести более практичную схему, но, как уже говорилось, построение экспозиметра с фотодиодом в режиме холостого хода нецелесообразно, так как он существенно уступает экспозиметру с логарифмическим преобразованием на фоторезисторе в простоте, не имея преимуществ в точности и быстродействии. Кроме того, он очень чувствителен к наводкам (так как фотодиод связан с высокоомным входом усилителя длинными проводами) и требует относительно дорогих радиодеталей, в то время как фоторезисторный экспозиметр строится на широко распространенных транзисторах.

Рассмотрим экспозиметр прямого отсчета с логарифмическим преобразованием (рис. 26), с аналого-дискретным преобразователем (построенном на десяти компараторах ($A1 \dots A10$) и десяти светоизлучающих диодах ($H1 \dots H10$), заменяющим стрелочный измерительный прибор.

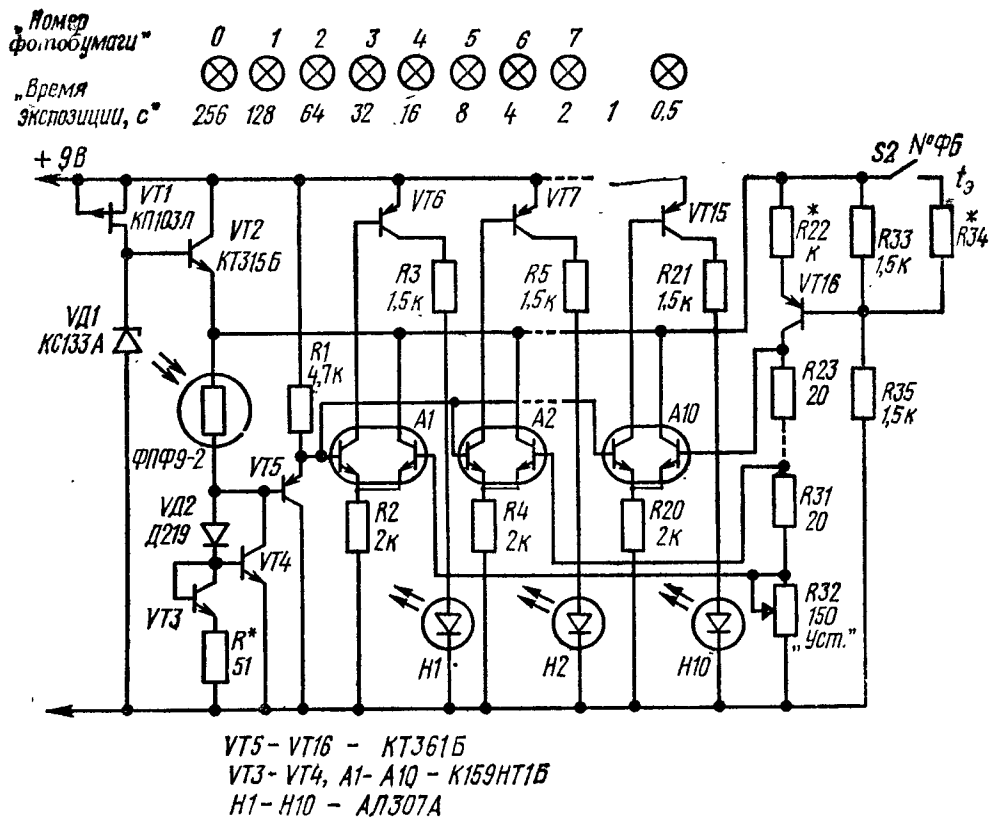


Рис. 26. Принципиальная схема логарифмического экспозиметра с дискретной индикацией

Принцип действия экспозиметра заключается в следующем. Ток фоторезистора логарифмируется элементами $VD2$ и $VT3$, напряжение с которых через развязывающий эмиттерный повторитель подается на входы всех компараторов $A1 \dots A10$, построенных на согласованной паре транзисторов серии К159 (можно применять и несогласованные транзисторы). Вторые входы компараторов подключены каждый к своему выходу линейки резисторов $R23 \dots R32$, питаемых от источника регулируемого тока, построенного на транзисторе $VT16$ и резисторах $R22$, $R33$, $R34$, $R35$. Один из транзисторов компараторов управляет ключевым транзистором ($VT6 \dots VT15$), включенным последовательно с СИД. Таким образом, при сравнении напряжений на входах компаратора он включает свой СИД, который на шкале подсвечивает значения времени экспозиции и номера фотобумаги. Например, при времени экспозиции 16 с будут светиться семь СИД ($H4 \dots H10$) и показания надо считывать напротив $H4$.

Два логарифмирующих элемента $VD2$ и $VT3$ с линеаризацией позволяют получить чувствительность экспозиметра порядка 25 мВ/ступень. Исходя из этой чувствительности и выбрано сопротивление каждого резистора $R23 \dots R31$. Для подстройки коэффициента чувствительности экспозиметра введен источник регулируемого тока, с помощью которого можно менять шаг преобразования аналого-дискретного преобразователя. Переменный резистор $R32$ («Установка») необходим для вывода экспозиметра в рабочую точку при работе с конкретным негативом.

Следует отметить, что в данной схеме компараторы не имеют положительной обратной связи, а коэффициент усиления по напряжению не так велик, чтобы изменение выходного тока происходило скачком: всегда будет присутствовать некоторая зона напряжений для каждого компаратора, в которой излучение СИД будет изменяться от минимума до максимума. В данном случае это даже полезно, так как при достаточном навыке позволяет судить о промежуточных значениях показаний экспозиметра.

Настройка прибора практически аналогична настройке экспозиметра с микроамперметром: с помощью фотоувеличителя формируется ряд освещенностей, отличающихся друг от друга в два раза (на ступень), и переменным резистором $R22$ обеспечивается уверенное зажигание (или погасание) соседних СИД при изменении освещенности на ступень (например, переключение диафрагмы объектива фотоувеличителя со значения 5,6 на значение 4).

Так как коэффициенты логарифмического преобразования при определении времени экспозиции и номера фотобумаги отличаются, то введен переключатель режима работы $S2$, с помощью которого эти коэффициенты можно изменять.

Работа с экспозиметром

Для определения номера бумаги фоторезистор помещают в наименее освещенный участок проекции кадра негатива и с помощью переменного резистора $R32$ «Установка» обеспечивают свечение только $H1$, т. е. устанавливают нуль отсчета. После этого фоторезистор помещают в наиболее освещенный участок кадра и по

последнему из светящихся СИД судят о требуемом номере фотобумаги.

Для определения времени экспозиции сначала с помощью реле времени делают пробные отпечатки — определяют оптимальное время экспозиции для данных негатива и фотобумаги. Затем помещают фоторезистор в наиболее ответственный участок кадра и с помощью переменного резистора $R32$ «Установка» вызывают свечение СИД, соответствующего определенному времени экспозиции. Для остальных негативов достаточно поместить фоторезистор в ответственный участок кадра и снять показания по шкале времени экспозиции.

В заключение рассмотрим подробно наиболее простую схему экспозиметра прямого отсчета с логарифмическим преобразованием, полностью отвечающую требованиям по точности.

Схема экспозиметра (рис. 27) содержит уже знакомый нам параметрический стабилизатор напряжения на полевом транзисторе $VT1$, стабилитроне $VD1$ и транзисторе $VT2$. Фоторезистор типа ФПФ9-2 включен последовательно с тремя логарифмирующими диодами $VD2 \dots VD4$ (для повышения чувствительности). Резисторы $R1$ и $R2$ предназначены для выравнивания люкс-омической характеристики фоторезистора. Напряжение с логариф-

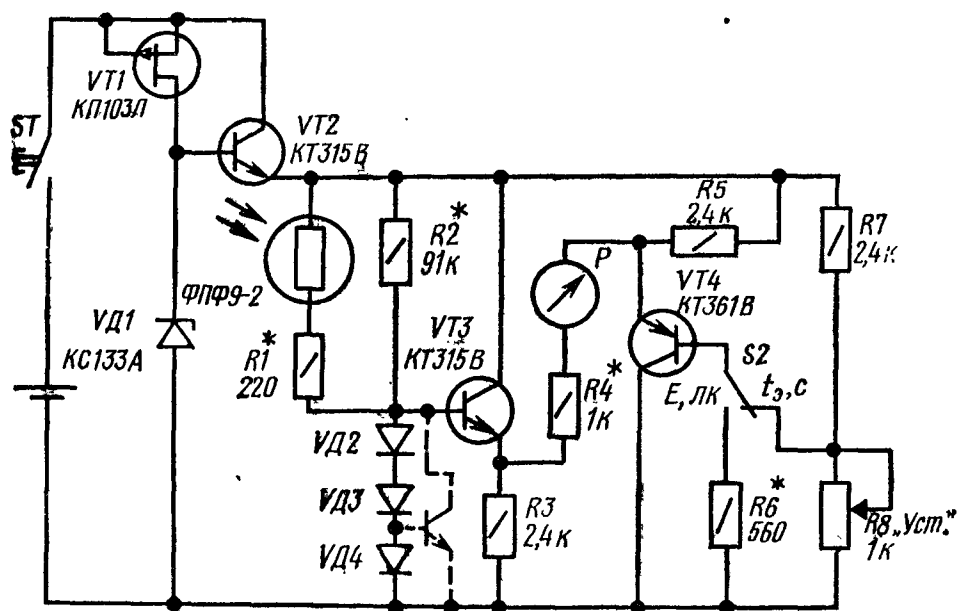


Рис. 27. Принципиальная схема логарифмического экспозиметра со стрелочной индикацией

мирующих диодов через эмиттерный повторитель ($VT3$) подается на вольтметр, в качестве которого использован микроамперметр М906 с пределом измерения 300 мкА, включенный последовательно с резистором $R4$, с помощью которого подбирается чувствительность экспозиметра. Другой клеммой измерительный прибор подключен к эмиттерному повторителю на $p-n-p$ транзисторе $VT4$, входное напряжение которого регулируется переменным резистором $R8$, предназначенным для выбора рабочей точки экспозиметра.

Настройку экспозиметра следует начинать с регулировки чувствительности, для чего на фоторезисторе необходимо создать некоторую освещенность (порядка 5 лк). Конечно, для точной настройки желательно иметь фоторезистор с известной люкс-омической характеристикой, но при ее отсутствии можно руководствоваться типичной люкс-омической характеристикой фоторезистора типа ФПФ9-2 с $\gamma=0,56$, приведенной в табл. 7.

Таблица 7

R , кОм	86,6	61,9	38,2	24,5	16	10,4	6,19	4,19	2,82	1,65	1,189	0,81	0,51
E , лк	0,05	0,1	0,2	0,5	1	2	5	10	20	50	100	200	500

С помощью диафрагмы объектива необходимо создать такую освещенность на фоторезисторе, чтобы его сопротивление составляло 5 ... 15 кОм. После этого, как и в предыдущих случаях, переменным резистором $R8$ «Установка» выводят стрелку микроамперметра в середину шкалы и за счет переключения диафрагмы объектива (например, из положения 4 в положение 5,6) изменяют освещенность в два раза. Требуемое приращение тока микроамперметра обеспечивают подбором сопротивления резистора $R4$. В данном случае приращение напряжения на логарифмирующих диодах составляло около 45 мВ на ступень и при $R4$ около 1 кОм микроамперметр давал приращение 25 мкА на ступень. Таким образом вся шкала экспозиметра охватывала двенадцать ступеней, что соответствует диапазону освещенностей от 0,1 до 200 лк (в 2000 раз). Как уже говорилось, кратность изменения освещенности в кадре от негатива на практике не превышает 100, а фотобумага с максимальной фотографической шириной позволяет воспроизводить кратность освещенностей не более 80.

Затем подбирают сопротивления резисторов $R1$ и $R2$. Сущность этого подбора можно понять из характери-

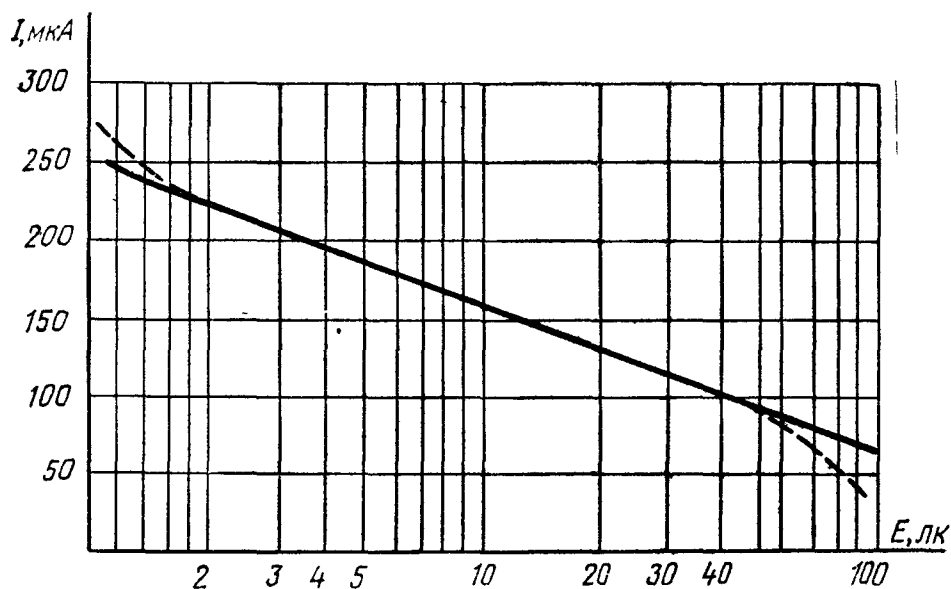


Рис. 28. Люкс-амперная характеристика экспозиметра без линеаризирующих резисторов (пунктирная кривая) и с линеаризирующими резисторами (сплошная кривая)

ки экспозиметра, приведенной на рис. 28, где пунктиром показана характеристика экспозиметра без резисторов $R1$ и $R2$. Из нее видно, что по краям диапазона освещенностей характеристика нелинейна. Поэтому резистор $R2$, включенный параллельно фоторезистору, спрямляет характеристику при низких освещенностях, а резистор $R1$, включенный последовательно с фоторезистором, спрямляет ее при высоких освещенностях. В силу того, что эти резисторы значительно отличаются по величине сопротивления, их подбор может осуществляться независимо друг от друга.

При желании можно ввести уже упоминавшуюся схему линеаризации, показанную на рис. 27 пунктиром, и получить высокую линейность в широком диапазоне.

Иногда можно обойтись и без резисторов (из характеристики видно, что линейный участок лежит в диапазоне освещенностей от 1 до 100 лк, вполне перекрывающем кратность освещенностей кадра негатива). Для этого необходимо с помощью диафрагмы фотоувеличителя обеспечить минимальную освещенность фоторезистора не менее 1 ... 2 лк. Это условие можно выполнить и за счет регулировки мощности осветительной лампы фотоувеличителя.

При наличии эталонного источника света можно нанести и логарифмическую шкалу освещенностей, тогда появится возможность использования экспозиметра в качестве люксметра. В силу того что люксметр измеряет абсолютные значения освещенности, а не приращения, как это делает экспозиметр, необходимо ввести постоянную нулевую точку отсчета. В схему экспозиметра на рис. 27 для этой цели введен переключатель $S2$ и резистор $R6$, величина сопротивления которого подбирается следующим образом. На фоторезисторе создают известную освещенность, например 2 лк. Изменяя сопротивление резистора $R6$, стрелку измерительного прибора устанавливают напротив этого значения. Теперь, поставив переключатель в положение «*Время экспозиции, с*», можно проводить относительные измерения времени экспозиции, а в положении «*Освещенность, лк*» — измерять абсолютные значения освещенности и определять номер фотобумаги.

Работа с экспозиметром

При определении номера фотобумаги переключатель ставят в положение «*Освещенность, лк*». Фоторезистор помещают в наименее освещенный участок кадра негатива и с помощью диафрагмы объектива фотоувеличителя по шкале номеров фотобумаги выводят стрелку измерительного прибора в нулевое положение. При перемещении фоторезистора в наиболее освещенный участок кадра негатива стрелка прибора укажет номер фотобумаги, требующейся для данного негатива.

Для определения времени экспозиции переключатель $S2$ должен находиться в положении «*Время экспозиции, с*». Порядок работы сохраняется таким же, как и в уже рассмотренных случаях: пробными отпечатками определяют время экспозиции и резистором «*Установка*» устанавливают найденное значение времени.

ЭКСПОЗИМЕТРЫ КОМПЕНСАЦИОННОГО ТИПА

В последнее время эти экспозиметры получили широкое распространение, что обусловлено снижением требований к измерительному прибору или полным его исключением из состава экспозиметра, так как функция шкалы отсчета передается компенсационному органу

(чаще всего потенциометру). Кроме того, снижаются требования к источнику питания.

Простейшая схема компенсационного экспозиметра показана на рис. 29, а. Она представляет собой резистивный мост с нуль-органом, в качестве которого использован микроамперметр, защищенный от перегрузок двумя диодами $VD1$ и $VD2$. Величина напряжения питания определяется максимальным сопротивлением фоторезистора и чувствительностью прибора P . Для приведенной схемы с микроамперметром М263М (50-0-50 мкА) и фоторезистором ФПФ9-2 достаточно всего 2 ... 3 В.

Принцип работы экспозиметра заключается в том, что с помощью переменного резистора $R2$, ручка которого связана со шкалой времени экспозиции и номеров фотобумаги, устанавливают равновесное состояние моста, иначе говоря, приводят показания измерительного прибора к нулю. Переменный резистор $R3$ «Установка» служит для вывода экспозиметра в рабочую точку.

Очевидно, что для охвата всего диапазона освещенностей при линейном резисторе шкала будет нелинейной или ее придется разбивать на поддиапазоны. Поэтому переменный резистор следует выбирать со степенной зависимостью сопротивления от угла поворота (перемещения) ручки.

Схема содержит стрелочный измерительный прибор, но хотя к нему и не предъявляется высоких требований по классу точности, все же его наличие не всегда желательно. На рис. 29, б показан аналогичный по своей сути компенсационный экспозиметр, но с электронным нуль-органом, выполненным на дифференциально включенных транзисторах со светоизлучающими диодами, используемыми в качестве индикатора равновесного состояния моста.

В данной схеме при разбалансе фотометрического моста светится один из СИД. При балансировке же обеспечивается свечение обоих СИД. Как и в предыдущем случае, схема требует нелинейного резистора $R5$. Диоды $VD1$ и $VD2$ необходимы для создания рабочих режимов работы электронного нуль-органа, так как напряжения на его входах должны находиться в пределах от 0,6 В до ($U_{пит} - 0,6$) В.

Очевидно, что переменный резистор $R5$ может быть выполнен и на дискретных резисторах с переключателем, а нуль-орган — на любых элементах сравнения. Напри-

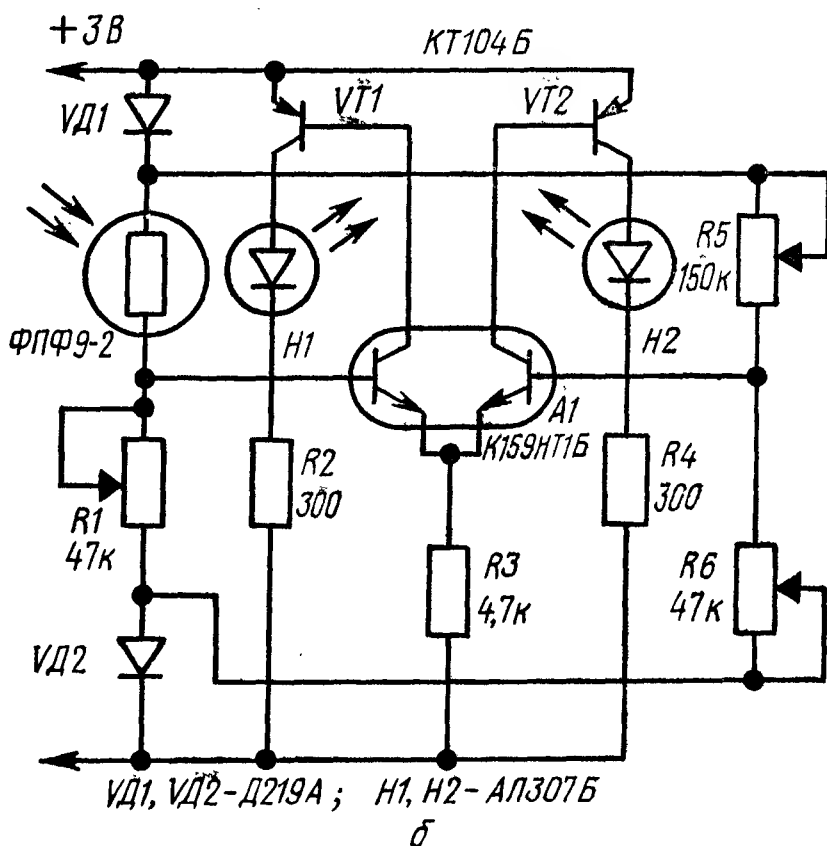
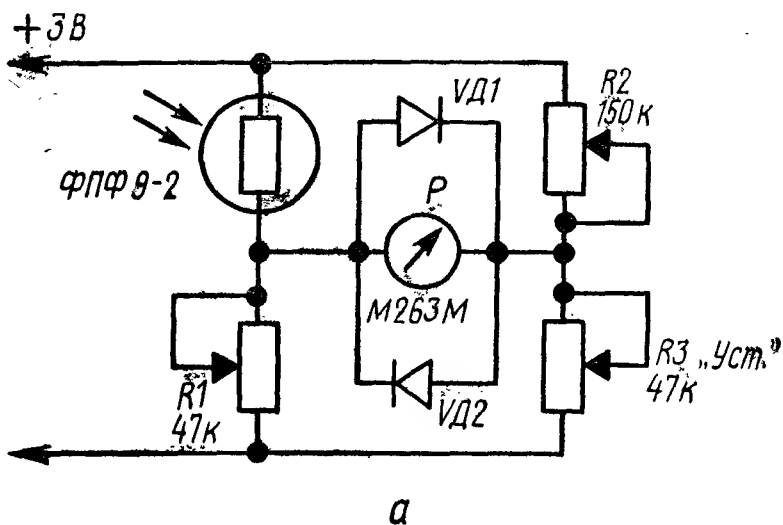


Рис. 29. Простейшие принципиальные схемы экспо-
метров компенсационного типа:

а — со стрелочным нуль-органом; б — со светодиодным нуль-органом

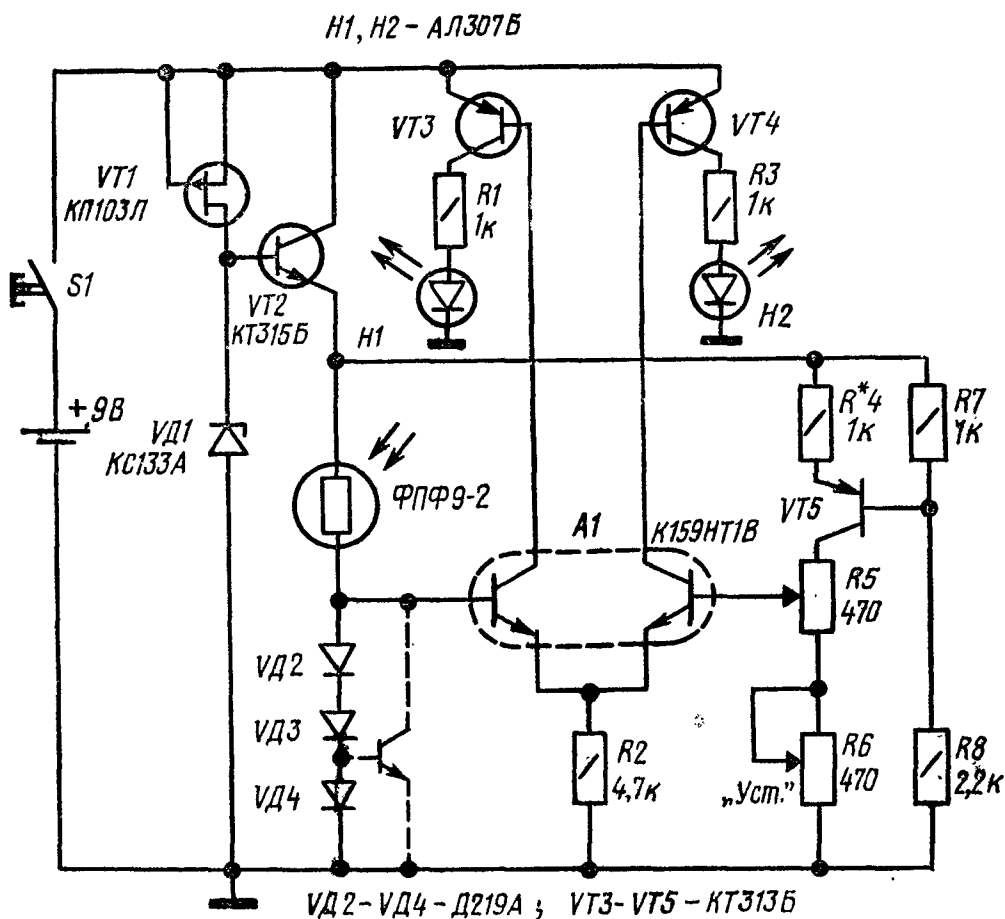


Рис. 30. Принципиальная схема логарифмического экспозиметра компенсационного типа со светодиодным нуль-органом

мер, в серийном экспозиметре компенсационного типа «Экспозир-1» используются дискретные резисторы с переключателем, связанным с цифровым индикатором (ИН-14), а в качестве нуль-органа использован тиратрон МТХ-90.

Но в работе все-таки удобней экспозиметры с логарифмическими преобразователями, так как в них сравнительно просто обеспечивается выбор рабочей точки, ввод чувствительности и снятие показаний. На рис. 30 показана схема компенсационного экспозиметра с логарифмическим преобразованием на диодах $VD2 \dots VD4$. Электронный нуль-орган аналогичен рассмотренному. Компенсационный потенциометр $R5$ с линейной характеристикой, а шкала, с которой связана его ручка, логарифмическая. Вместо потенциометра $R5$ можно включить переключатель и ряд последовательно включенных рези-

сторов с одинаковым сопротивлением. Для линеаризации характеристики логарифматора можно использовать рассмотренную схему, показанную пунктиром.

Как уже говорилось, чувствительность логарифмического преобразователя на трех диодах с фоторезистором типа ФПФ9-2 составляет около 45 мВ на ступень. Из этих соображений и выбирается величина сопротивлений $R5$, $R6$ и $R4$. Зададимся током коллектора $VT5$ 1 мА и диапазоном измеряемых освещенностей от 0,5 до 300 лк (десять ступеней). Следовательно, шкала потенциометра должна иметь 11 (запас необходим для исключения начального и конечного участка потенциометра) равных отрезков, а диапазон напряжений на выходе потенциометра 450 мВ, т. е. сопротивление $R5$ должно быть равным 470 Ом. Таким образом, вся шкала «*Время экспозиции*» потенциометра должна быть разбита на 11 отрезков (12 делений). После этого с помощью диафрагмы объектива фотоувеличителя удваивают освещенность на фоторезисторе и подбором сопротивления $R4$ добиваются приращения на одно деление по шкале потенциометра, т. е. создают некоторую среднюю освещенность 5 ... 10 лк при диафрагме, например 5,6. Затем устанавливают потенциометр $R5$ против деления «16с» по шкале «*Время экспозиции*» и переменным резистором $R6$ «*Установка*» добиваются свечения обоих СИД. При переключении диафрагмы объектива в положение 4, т. е. при увеличении освещенности в два раза, должен погаснуть СИД $H2$.

Если освещенность увеличилась в два раза, то время экспозиции должно сократиться тоже в два раза, и потенциометр $R5$ необходимо установить против деления «8с». Если СИД $H1$ светится, а $H2$ не светится, то необходимо уменьшить сопротивление $R4$. Если же СИД $H1$ погаснет, а $H2$ засветится, то сопротивление $R4$ необходимо увеличить. Затем все операции следует повторить. В конечном итоге необходимо обеспечить свечение обоих СИД в положении «8с» при диафрагме 4 и «16с» при диафрагме 5,6.

Шкала «*Номер фотобумаги*» наносится на шкалу «*Время экспозиции*» так же, как это делалось ранее.

Работа с экспозиметром

Для определения номера фотобумаги фоторезистор помещают в самый темный участок кадра. Потенциометр *R5* устанавливают в нулевое положение по шкале «*Номер фотобумаги*» и резистором *R6* «*Установка*» добиваются свечения обоих СИД. Затем фоторезистор помещают в наиболее освещенный участок кадра и обеспечивают свечение обоих СИД с помощью потенциометра *R5*. Ручка потенциометра в этом случае встанет против номера фотобумаги, требующегося для данного негатива.

Для определения времени экспозиции, как и ранее, предварительно делают пробные отпечатки. Полученное время экспозиции устанавливают на шкале потенциометром *R5*. Фоторезистор помещают в наиболее ответственный участок кадра и резистором *R6* «*Установка*» добиваются свечения обоих СИД. Для других негативов фоторезистор также помещают в наиболее ответственный участок кадра, но свечения обоих СИД добиваются потенциометром *R5*. В этом случае его ручка покажет время экспозиции, которое необходимо установить на реле времени.

В заключение рассмотрим простейший случай использования компенсационного экспозиметра, когда отпадает необходимость в какой-либо калибровке.

Сначала путем пробных отпечатков при среднем положении диафрагмы объектива устанавливают время экспозиции, которое остается постоянным для всех других негативов. Затем фоторезистор помещают в наиболее ответственный участок кадра и балансируют фотометрический мост с помощью переменного резистора. Для других негативов фоторезистор также помещают в наиболее ответственный участок кадра и балансируют мост, но только уже за счет изменения освещенности фоторезистора с помощью диафрагмы объектива фотувеличителя или с помощью регулятора мощности его осветительной лампы. Иначе говоря, при постоянном времени экспозиции для данного типа фотобумаги обеспечивается постоянная освещенность в наиболее ответственном участке кадра. В этом случае не предъявляется никаких особых требований к линейности фотоприемника, так как он работает только в одной точке своей

люкс-амперной характеристики. Поэтому в качестве фотоприемника могут быть использованы практически любые фотоэлементы, включая фототранзисторы.

РЕЛЕ ВРЕМЕНИ (ТАЙМЕРЫ) С ВЫХОДНЫМ КОММУТАТОРОМ

При фотопечати таймер необходим для воспроизведения заданного времени экспозиции, в течение которого лампа фотоувеличителя с помощью коммутатора подключена к сети.

Как уже говорилось, таймер включает в себя следующие основные элементы: времязадающую RC -цепь, пороговое устройство, коммутатор и источник питания. Конкретное выполнение каждого из этих элементов может быть весьма разнообразным. Поэтому существует великое множество всевозможных вариантов электросхем таймеров. Мы рассмотрим только некоторые из них, представляющие наиболее практический интерес.

Для начала остановимся на принципиальной электросхеме серийного таймера типа «Вулкан» (рис. 31), выпускаемого киевским заводом «Кристалл».

Времязадающая RC -цепь в таймере «Вулкан» выполнена на резисторах $R1$, $R2$ и конденсаторе $C1$. Высокоомный резистор $R1$ («Грубо») предназначен для установки интервалов времени от 30 с до 2 ч. Резистор $R2$

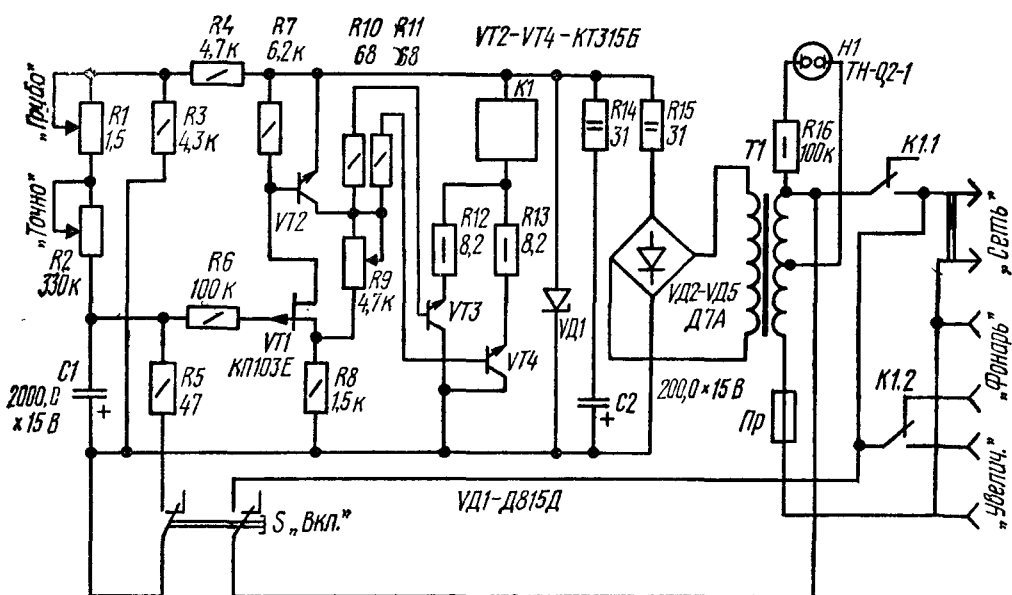


Рис. 31. Принципиальная схема реле времени типа «Вулкан»

(«Точно») служит для ввода интервалов времени от 0 до 30 с. *

Пороговое устройство таймера выполнено на полевом транзисторе *VT1* и биполярном транзисторе *VT2*. Полевой транзистор на входе порогового устройства включен из-за его большого входного сопротивления, чтобы не шунтировать *RC*-цепь. Но следует заметить, что входное сопротивление не менее 15 МОм, требуемое данной схемой, нетрудно обеспечить и биполярными транзисторами, включенными по схеме Дарлингтона (составными транзисторами).

Выход порогового устройства подключен к коммутатору *K1* через буферный усилитель мощности, в качестве которого использованы включенные параллельно эмиттерные повторители на транзисторах *VT3* и *VT4*. Резисторы *R12* и *R13* в их эмиттерных цепях включены для выравнивания токов между транзисторами. Контакты коммутатора используются для переключения в противофазе ламп увеличителя и фонаря, а также для блокировки пусковой кнопки.

Источник питания выполнен на понижающем трансформаторе *T1*, диодном мосте *VD2* ... *VD5* с фильтром *C2* и параметрическом стабилизаторе напряжения на стабилитроне *VD1* и резисторах *R14*, *R15*.

Неоновая лампа *H1* предназначена для индикации включенного состояния таймера.

При нажатии кнопки *S* «Вкл.» таймер подключается к сети. Конденсатор *C1* разряжается через резистор *R5*. Транзисторы *VT1* и *VT2* закрыты, и на базах *VT3* и *VT4* присутствует высокий потенциал. Реле *K1* включено и своими контактами блокирует кнопку *S* и включает лампу фотоувеличителя. Отсчет времени производится с момента отпускания кнопки *S*. Конденсатор *C1* заряжается через резисторы *R1* и *R2*.

Полевой транзистор *VT1* начнет открываться при достижении напряжением на конденсаторе значения, определяемого напряжением на истоке, которое можно регулировать резистором *R9*. Когда ток через реле *K1* станет меньше тока отпускания, реле выключится и обесточит лампу увеличителя и само устройство.

Главным недостатком рассмотренной схемы является то, что отсчет времени начинается только после отпускания кнопки, и время нажатия кнопки представляет собой погрешность времени экспозиции. Недостатком

При включении устройства в сеть напряжение подается только на однополупериодный выпрямитель. Переключатель $S1$ служит для подключения лампы фотоувеличителя во время наводки на резкость и определения экспозиции.

Нажимая на кнопку $S2$ «Пуск», подают питание на таймер. Так как конденсатор $C2$ в исходном состоянии разряжен контактами $K1.1$ реле $K1$, то транзисторы $VT1$, $VT2$ и тиристор $VD4$ закрыты: через реле $K1$ и стабилитрон $VD3$ течет ток. Реле $K1$ включается, контактами $K1.1$ размыкает обкладки конденсатора $C2$ и подключает таймер и увеличитель к сети. Когда напряжение на конденсаторе $C2$ достигнет порогового значения, представляющего собой сумму падений напряжения на эмиттерных переходах $VT1$, $VT2$ и на управляющем электроде тиристора $VD4$ (2,2 ... 2,5 В), тиристор $VD4$ откроется и зашунтирует реле $K1$. Это реле отключит увеличитель и таймер от сети и разрядит конденсатор $C2$. В исходное состояние таймер вернется только после отпущения кнопки $S2$.

В таймере могут быть использованы электромагнитные реле типа РЭС-10 (пасп. РС4.524.301), РЭС-9 (пасп. РС.524.204) или другие с током включения 8 ... 10 мА и высокоомной катушкой электромагнита (5 ... 10 кОм). Данные о реле приведены в приложении 8. Вместо переменных резисторов $R3$ и $R4$ можно включить набор постоянных резисторов с многопозиционным переключателем.

При указанных на схеме значениях параметров элементов таймер позволяет получить интервалы времени от долей секунды до 110 с. Этот диапазон может быть расширен и до 1000 с, так как входное сопротивление порогового устройства позволяет включать резисторы времязадающей цепи до 10 МОм.

Настройка таймера с набором постоянных времязадающих резисторов весьма проста и заключается в подстройке заданного интервала времени с помощью потенциометра $R5$.

На рис. 33 показана аналогичная схема таймера, но с более точным пороговым устройством, построенным по дифференциальной схеме, что повышает воспроизводимость интервалов времени при изменении напряжения питания [7].

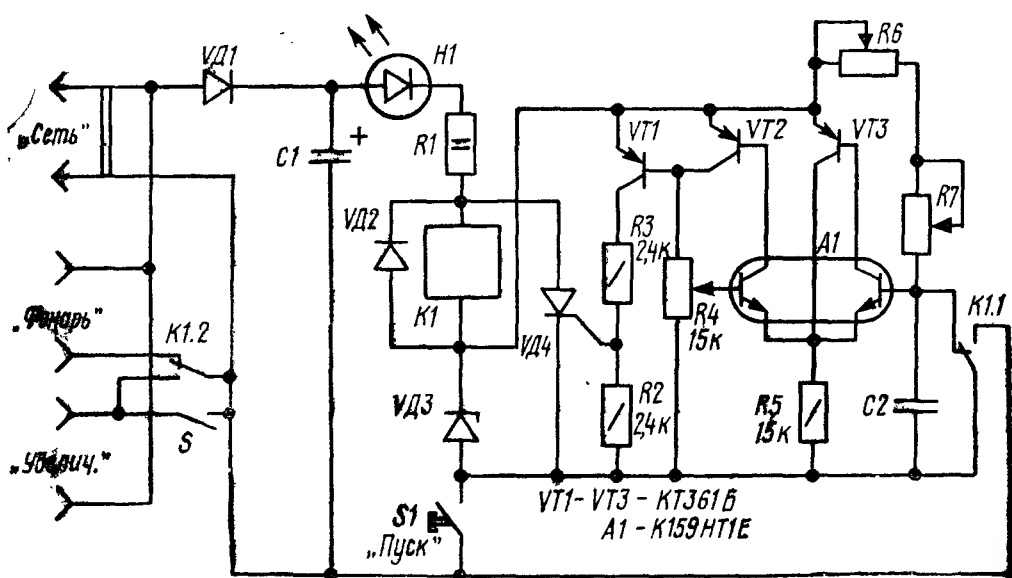


Рис. 33. Принципиальная схема сетевого реле времени повышенной точности

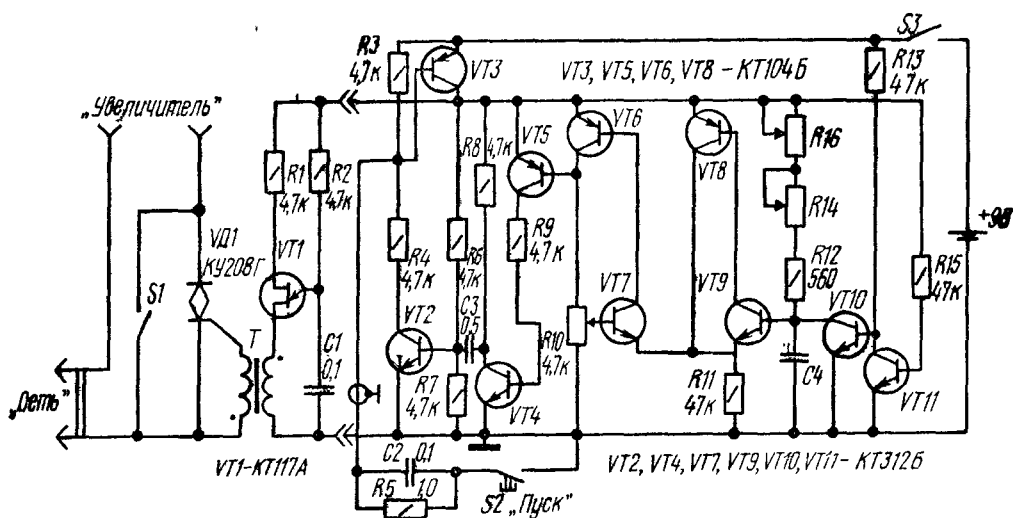


Рис. 34. Принципиальная схема экономичного и высокоточного реле времени с тиристорным коммутатором

В этой схеме порог включения регулируется потенциометром R_4 , за счет чего можно устранять погрешность, обусловленную технологическим разбросом параметров RC -цепи, или вводить поправку. Пороговое устройство охвачено положительной обратной связью посредством подключения к коллектору транзистора VT_2 потенциометра R_4 . В результате все активные элементы работают в надежном ключевом режиме. Входное сопро-

тивление порогового устройства за счет комплементарного включения транзисторов по схеме Дарлингтона позволяет включать времязадающие резисторы с сопротивлением до 40 МОм и более.

В рассмотренных вариантах схем таймеров в качестве коммутаторов использованы электромагнитные реле, обладающие невысокой надежностью работы на переменном токе и ограниченной мощностью коммутируемой нагрузки (менее 60 Вт). Поэтому представляет интерес хотя и относительно сложная схема таймера (рис. 34), но обладающая высокой точностью, безопасностью (питание осуществляется от батарейки) и не имеющая электромагнитных коммутаторов. В этой схеме коммутатор построен на симисторе $VD1$, позволяющем подключать лампу мощностью до 500 Вт, а блокировочные контакты реле заменены транзисторными ключами.

При замыкании ключа $S3$ на схему таймера подается питание, но транзисторы $VT2$, $VT3$ закрыты и на пороговое устройство, построенное по знакомой уже дифференциальной схеме на транзисторах $VT4 \dots VT9$, питание не подается. В результате транзистор $VT11$ закрыт, а $VT10$ открыт, так как в его базу через резистор $R13$ течет ток. Если времязадающий конденсатор $C4$ был заряжен, то он разрядится через транзистор $VT10$. В таком состоянии потребление тока определяется только резистором $R13$, $I_{п.тр} \approx 0,2$ мА. При нажатии кнопки $S2$ «Пуск» через конденсатор $C2$ на базу транзистора $VT3$ поступит импульс тока и он откроется. В результате транзистор $VT2$ тоже откроется и будет удерживать транзистор $VT3$ в открытом состоянии, так как транзисторы $VT2$ и $VT3$ представляют собой триггер с двумя устойчивыми состояниями — в одном состоянии они оба открыты, а в другом — оба закрыты.

Таким образом, транзисторы $VT2$ и $VT3$ самоблокируются, а на пороговое устройство и на вход тиристорного коммутатора подается питание. На выходе генератора, построенного на двухбазовом диоде $VT1$, возникают импульсы, которые через развязывающий импульсный трансформатор подаются на управляющий вход симистора и открывают его, подключая лампу фотувеличителя к сети. Для того чтобы симистор не выключался во время экспозиции, частота следования выходных импульсов генератора должна быть не ниже 20 ... 40 кГц.

При открывании транзистора $VT3$ открывается транзистор $VT11$, закрывая $VT10$, и времязадающий конденсатор $C4$ начинает заряжаться. Выходной транзистор порогового устройства $VT4$ во время отработки экспозиции закрыт, и конденсатор $C3$ через резистор $R8$ и вход транзистора $VT2$ заряжен до напряжения питания. После срабатывания порогового устройства транзистор $VT4$ открывается и запирающий потенциал на конденсаторе $C3$ подается на базу транзистора $VT2$, который в свою очередь закрывает транзистор $VT3$. Схема возвращается в исходное состояние: симистор $VD1$ и транзистор $VT3$ закрыты, транзистор $VT10$ открыт и конденсатор $C4$ разряжен.

В этой схеме пороговое устройство гальванически отделено от сети импульсным трансформатором, но развязку можно обеспечить и с помощью оптронов или маломощных реле. На рис. 35 показана схема коммутатора на базе диодного моста и мощного тиристора, управляемого маломощным тиристором тиристорного оптрона типа АОУ103В, световылучающий диод которого подключен к выходу таймера.

При фотопечати иногда возникает необходимость регулировать мощность лампы накаливания фотоувеличителя. Поэтому весьма полезно в составе тиристорного коммутатора иметь схему регулирования угла его включения. Тогда он одновременно будет служить и регулятором мощности. На рис. 36, а приведена схема тиристорного регулятора мощности, управляемого таймером [13]. Здесь резистор $R1$ и стабилитрон $VD6$ предназначены для синхронизации схемы регулирования угла включения тиристора $VD5$, выполненной на времязадающей RC -цепи ($R4$, $C1$) и двухбазовом диоде $VT1$.

Для объяснения принципа действия тиристорного регулятора мощности на рис. 36, б приведены эпюры напряжений в отдельных точках схемы. При появлении полуволны выпрямленного сетевого напряжения на закрытом тиристоре (U_a) на стабилитроне $VD6$ появляется ограниченное им напряжение U_b и времязадающий конденсатор $C1$ начнет заряжаться (U_a) через резистор $R4$. Когда напряжение на конденсаторе $C1$ достигнет порога включения двухбазового диода (U_n), он включится, конденсатор разрядится на управляющий электрод тиристора (U_c) и лампа фотоувеличителя подключится к сети. Момент включения относительно полу-

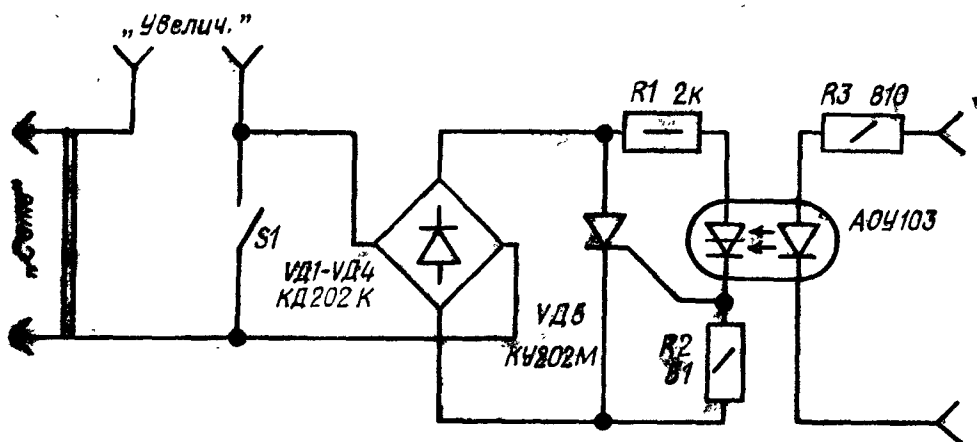


Рис. 35. Принципиальная схема тиристорного коммутатора на 500 Вт

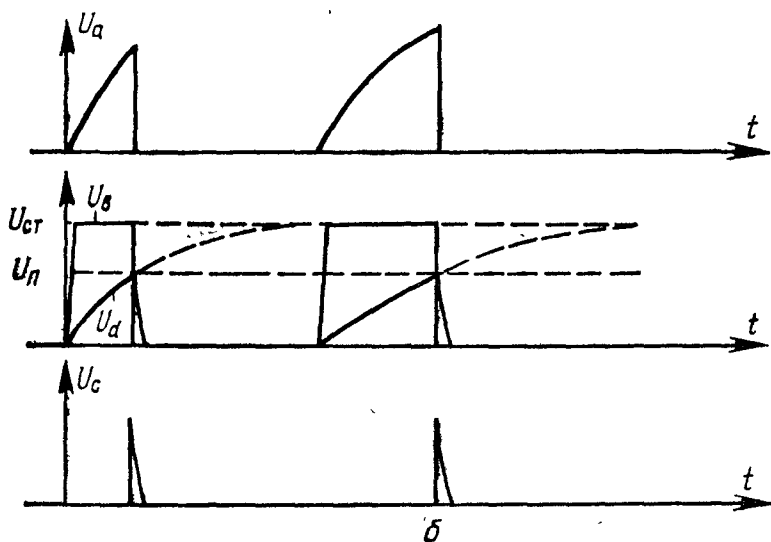
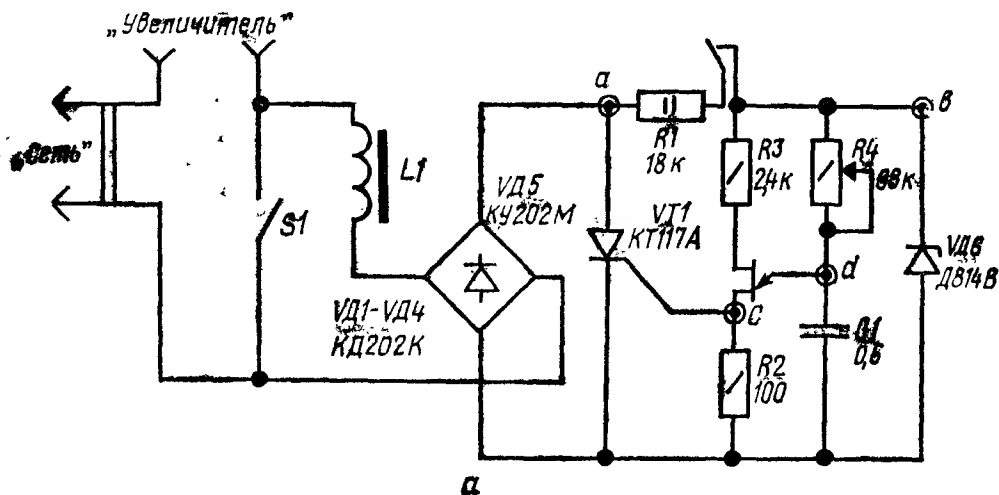


Рис. 36. Принципиальная схема тиристорного коммутатора с регулировкой мощности (а) и эпюры напряжений в нем (б)

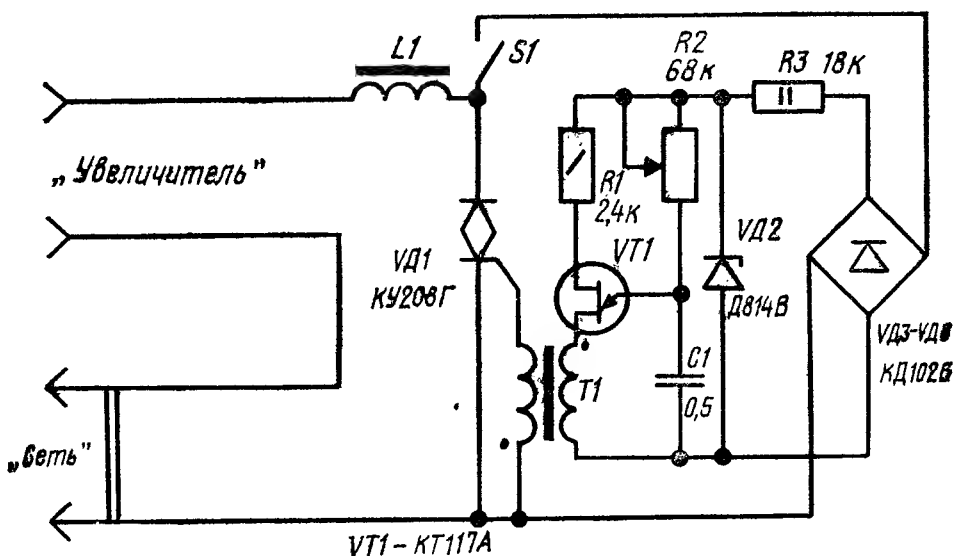


Рис. 37. Симисторный коммутатор с регулировкой мощности

периода можно регулировать переменным резистором $R4$.

Так как во время переключения тиристора из закрытого состояния в открытое в сеть попадают импульсы помехи, то для предохранения от них включен дроссель $L1$ (около 200 витков провода диаметром 0,8 мм на ферритовом стержне или кольце марки 600 НН).

Двухбазовый диод может быть заменен на его эквивалент (см. рис. 18, б).

При построении коммутатора с регулятором мощности на симметричном тиристоре необходимость в силовом диодном мосте отпадает. Схема с симистором приведена на рис. 37.

Может представить интерес и простая схема, позволяющая контролировать разряд батареи ниже допустимого уровня (рис. 38). В этой схеме СИД $H1$ совмещает в себе функции индикатора и стабилитрона, так как прямая ветвь его вольтамперной характеристики при токах 100 ... 200 мкА имеет ярко выраженный вертикальный участок, в то время как светиться он начинает только при токах более 0,4 ... 0,5 мА.

Таким образом, выбирая необходимый коэффициент деления резистивного делителя $R3 - R4$, можно обеспечить выключенное состояние транзисторов $VT1$ и $VT2$, т. е. отсутствие свечения СИД $H1$, при напряжении ба-

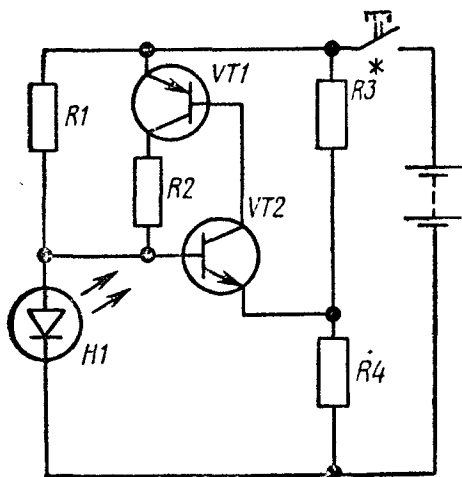


Рис. 38. Принципиальная схема устройства контроля питания

КТ361В, VT2—КТ315В) СИД не светится при напряжении выше 2,1 В и светится при снижении его до уровня 2,09 В. Схема обладает хорошими пороговыми свойствами, что обеспечивается наличием положительной обратной связи через транзистор VT1. Такая схема применяется в фотоаппаратах для контроля разряда гальванических элементов и выполняется в виде гибридной схемы на базе бескорпусных транзисторов типа КТ307 и КТ202.

ГЛАВА V. ПОЛУАВТОМАТИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ФОТОПЕЧАТИ

К полуавтоматическим устройствам условно можно отнести совмещенные экспозиметр и таймер, в которых при неавтоматическом процессе измерения экспозиции ее значение автоматически устанавливается в устройстве обработки экспозиции (например, время задержки в таймере).

Исходя из того, что экспозиция H представляет собой произведение освещенности E на время экспозиции t , полуавтоматы для фотопечати также условно можно разбить на полуавтоматы с приоритетом по времени и с приоритетом по освещенности. В первом случае время экспозиции задается постоянным, а требуемая экспозиция обеспечивается изменением освещенности фотобумаги. Во втором — требуемая экспозиция обеспечивается

тарей выше нижнего допустимого порога. Резистор $R2$ ограничивает ток СИД.

Схема контролирует питание источника напряжения, построенного на двух элементах РЦ, которые допускают разряд до 1,05 ... 1,1 В, и устройство должно срабатывать при падении напряжения ниже 2,1 В.

В данной схеме ($R1 = 10$ кОм, $R2 = 0$, $R3 = 3,6$ кОм, $R4 = 2,4$ кОм, СИД типа АЛ307Б (напряжение стабилизации $\sim 1,3$ В при токе ~ 100 мкА), VT1—

изменением времени экспозиции в соответствии с освещенностью фотобумаги.

Как правило, полуавтоматы строятся на базе компенсационных (нулевых) схем измерения, в которых при балансировке фотометрического моста регулирующим органом (например, потенциометром) одновременно обеспечивается и требуемое экспозиционное число.

ПОЛУАВТОМАТИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ФОТОПЕЧАТИ С ПРИОРИТЕТОМ ПО ВРЕМЕНИ ЭКСПОЗИЦИИ

Вначале рассмотрим схему полуавтомата для фотопечати компенсационного типа с приоритетом по времени экспозиции [2].

Эта схема (рис. 39) обрабатывает время экспозиции около 10 с (устанавливается резисторами $R2$ и $R5$), а для очень плотных негативов около 100 с (устанавливается подстроечными резисторами $R3$ и $R6$). Резисторы включены в эмиттерную цепь транзистора $VT1$ с фиксированным с помощью стабилитрона $VD1$ базовым потенциалом. В результате заряд времязадающего конденсатора $C1$ осуществляется постоянным током.

В качестве порогового устройства реле времени использован усилитель с входным полевым транзистором $VT2$ и с выходными транзисторами $VT7$, $VT8$, причем последний включен в цепь управления электромагнит-

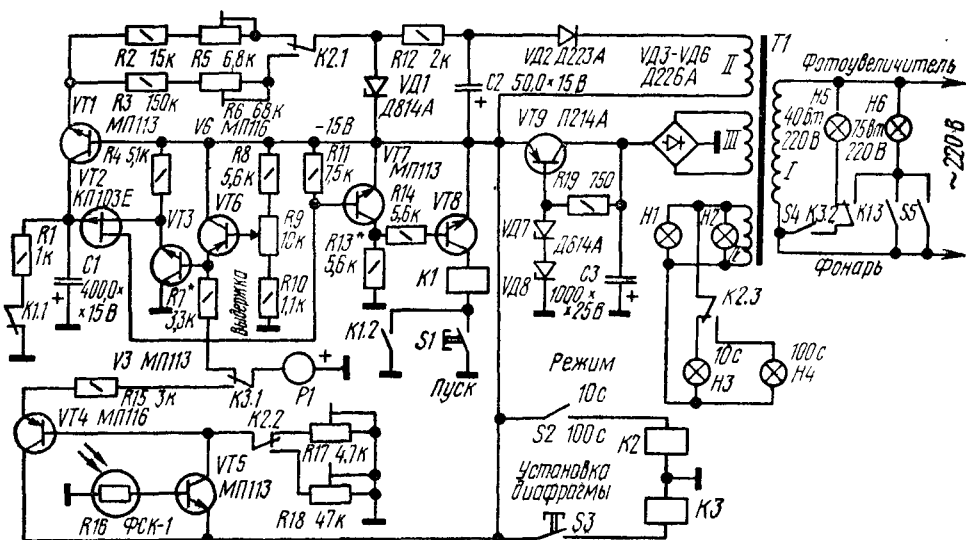


Рис. 39. Принципиальная схема полуавтомата для фотопечати

ного реле *K1*. Порог включения устройства устанавливается делителем *R8R9R10*, потенциал с которого через составной эмиттерный повторитель на транзисторах *VT3*, *VT6* передается на исток полевого транзистора *VT2*. В данном случае нет необходимости использовать полевой транзистор с большим входным сопротивлением, так как зарядный ток конденсатора выбран весьма большим — 40 и 400 мкА. Вместо полевого транзистора может быть использован и любой биполярный транзистор *p-n-p* структуры (например, КТ361, КТ104, КТ347).

Для контроля порога включения в эмиттерную цепь транзистора *VT6* через ограничительный резистор *R7* включен миллиамперметр *P1* (тип М4207 с пределом измерения 3 мА), который используется и в качестве индикатора выдержки.

Фоторезистор *R16* включен в базовую цепь транзистора с двумя подстроечными резисторами: *R17* — для нормального негатива и *R18* — для плотного. Выходной ток экспонометрического устройства измеряется миллиамперметром *P1*.

Помещая фоторезистор в наиболее ответственный участок кадра, стрелку измерительного прибора устанавливают с помощью диафрагмы объектива фотоувеличителя против определенного экспериментального значения. Эта операция производится при нажатой кнопке «Установка диафрагмы» *S3*, подающей напряжение на реле *K1*, которое контактами *K3.1* подключает измерительный прибор к экспонометру, а контактами *K3.2* включает лампу увеличителя. Если негатив плотный, переключателем *S2* следует включить реле *K2*.

При отпущенной кнопке *S1* измерительный прибор подключается к пороговому устройству таймера (реле времени). С помощью потенциометра *R9* по шкале прибора устанавливают требуемую выдержку. Теперь при нажатии кнопки *S1* «Пуск» включится реле *K1* и его контакты *K1.2* заблокируют кнопку *S1*, контакты *K1.3* включают лампу фотоувеличителя *H6*, а контакты *K1.1* разомкнутся. Вреязадающий конденсатор *C1* начнет заряжаться, и реле времени отработает требуемую выдержку, после чего реле *K1* выключится и контактами *K1.1* разрядит конденсатор. Следует отметить, что если к этому моменту кнопка *S1* будет еще замкнута, то произойдет повторное срабатывание.

Устройство питается от стабилизатора напряжения, построенного на транзисторе $VT9$ и стабилитронах $VD7$, $VD8$ с выходным напряжением 15 В. Для питания времязадающей цепи на транзисторе $VT1$ используется дополнительный источник напряжения, построенный на однополупериодном выпрямителе $VD2$ с фильтром $C2$ и на параметрическом стабилизаторе напряжения 7,5 В со стабилитроном $VD1$.

Лампы $H1$ и $H2$ предназначены для подсветки шкалы миллиамперметра, а $H3$ и $H4$ — для подсветки надписей «10 с» и «100 с».

Трансформатор $T1$ собран на магнитопроводе Ш20Х1Х20 со следующими намоточными данными:

Обмотка 1 — 1600 витков ПЭЛ-0,25

» 2 — 150 » ПЭЛ-0,1

» 3 — 150 » ПЭЛ-0,51

» 4 — 30 » ПЭЛ-0,74

Тумблеры $S4$ и $S5$ предназначены соответственно для ручного подключения ламп фонаря и увеличителя.

Настраивая прибор, сначала перемещают движок резистора $R9$ в верхнее положение и подбором сопротивления резистора $R7$ устанавливают стрелку измерительного прибора на последнее деление шкалы. Затем резисторами $R5$ и $R6$ устанавливают время экспозиции 10 с и 100 с соответственно.

Для настройки экспонометра путем пробных отпечатков определяют время экспозиции, а затем помещают фоторезистор в ответственный участок кадра и с помощью соответствующего переменного резистора ($R5$ или $R6$) на соответствующей шкале измерительного прибора устанавливают определенное ранее время экспозиции.

Рассмотренная схема довольно сложна конструктивно и не совсем удобна в работе, так как требует манипуляций с двумя органами — диафрагмой объектива фотоувеличителя и потенциометром $R9$. Кроме того, иногда возникает необходимость переключения шкалы измерений. Экспозиметр устройства использовать для выбора номера фотобумаги нельзя.

ПОЛУАВТОМАТИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ФОТОПЕЧАТИ С ПРИОРИТЕТОМ ПО ОСВЕЩЕННОСТИ

Такие устройства из-за своих удобств, простоты и широких возможностей могут найти наиболее широкое применение. Одна из схем полуавтоматического экспонометрического устройства приведена на рис. 40. Основные элементы этой схемы уже знакомы по предыдущим главам. Отличие заключается только в стабилизаторе напряжения, который построен на базе СИД $H1$ и $H2$. Они используются одновременно как индикаторы включения и как источники опорного напряжения, так как на двух последовательно включённых СИД типа АЛ307В при токе через них около 5 ... 8 мА падает напряжение 2,9 ... 3,2 В, т. е. на выходе эмиттерного повторителя ($VT1$) будет стабилизированное напряжение 2,4 ... 2,5 В. Оно предназначено для питания фоторезистора $R2$, включенного последовательно с логарифмирующими диодами, в качестве которых использованы транзисторы $VT4$ и $VT3$. Резистор $R3$ и транзистор $VT2$ линеаризируют световую характеристику экспозиметра [8]. Сигнал, пропорциональный логарифму освещенности фото-

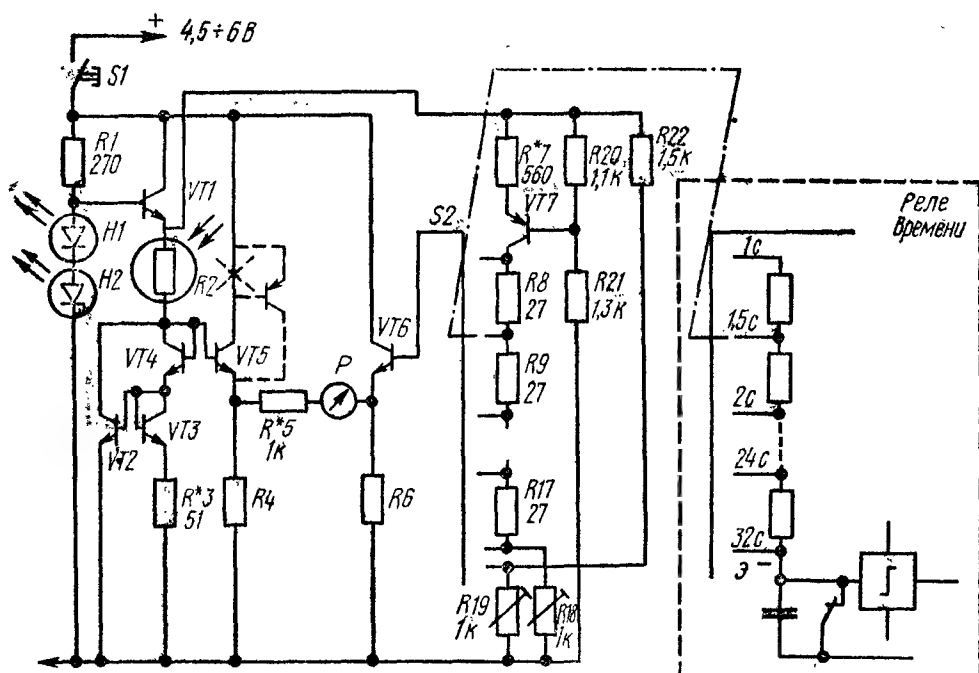


Рис. 40. Принципиальная схема логарифмического полуавтомата для фотопечати

резистора, через развязывающий эмиттерный повторитель ($VT15$) подается на измерительный прибор P , второй вывод которого связан с выходом эмиттерного повторителя на транзисторе $VT6$. На вход транзистора через сдвоенный переключатель $S2$ поступает установочное напряжение, выделяемое на цепочке резисторов $R8 \dots R17$. Для этой цели служит источник тока, построенный на транзисторе $VT7$ с резистором $R7$ в эмиттерной цепи и делителем на резисторах $R20$ и $R21$.

Указанные в схеме номиналы соответствуют фоторезистору типа ФПФ9-2. Для других типов фоторезисторов сопротивления резисторов $R3$ и $R7$ могут отличаться от приведенных.

Принцип действия экспозиметра заключается в том, что с помощью резистора $R3$ обеспечивается равномерность приращения напряжения на выходе логарифматора во всем диапазоне освещенностей фоторезистора. Чувствительность экспозиметра устанавливается с помощью подстроечного резистора $R5$.

Такая схема позволяет совместить и метод прямого отсчета, и компенсационный метод. Первый удобен при определении номера фотобумаги и ориентировочного времени экспозиции, а второй целесообразно применить при быстрой полуавтоматической установке времени экспозиции в таймере, осуществляемой с помощью переключателя $S2$ на два направления.

Для повышения точности в полуавтоматическом режиме работы рекомендуется переключение производить через 0,5 ступени. Для этого в таймере необходимо обеспечить примерно следующий ряд вводимых времен задержки: 0,5; 0,75; 1; 1,5; 2; 3; 4; 6; 8; 12; 16; 24; 32; 48; 64 с. Наиболее употребимый диапазон задержек — от 1 до 32 с.

Величины сопротивлений резисторов $R4$ и $R6$ определяются диапазоном рабочих токов микроамперметра P . Например, в случае применения микроамперметра с пределом 50 мкА достаточно выбрать $R4 = R6 = 3,9$ кОм. При повышенном рабочем токе микроамперметра сопротивления указанных резисторов необходимо уменьшать. В этом случае необходимое входное сопротивление эмиттерного повторителя можно обеспечить за счет введения дополнительного транзистора, показанного на рис. 40 пунктиром.

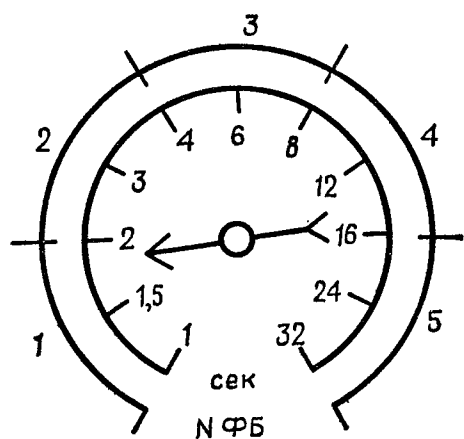


Рис. 41. Пример разметки шкалы компенсационного потенциометра в полуавтомате для фотопечати

В крайнем нижнем положении переключателя $S2$ устройство представляет собой уже рассмотренный ранее экспозиметр прямого отсчета (см. рис. 27), который при наличии линейной шкалы измерительного прибора в удобном виде отображает информацию о номере фотобумаги и о необходимом времени экспозиции.

При использовании только компенсационного метода схема автоматического экспозиметра упрощается, а требования к микро-

амперметру снижаются. Это и понятно: ведь он используется только как нуль-орган, т. е. в сбалансированном состоянии ток через него не течет и сопротивления резисторов $R4$ и $R6$ можно увеличить до 10 и более кОм (в зависимости от применяемого микроамперметра или компаратора).

О том, как работает экспозиметр по компенсационному методу, было сказано ранее. В данном случае отличие заключается только в том, что сдвоенный переключатель $S2$, шкала которого проградуирована в интервалах времени, параллельно переключает ряд резисторов в таймере. С помощью компенсационного экспозиметра по описанной ранее методике можно определять и номер фотобумаги, для чего необходимо проградуировать соответствующим образом шкалу переключателя $S2$ (рис. 41). В качестве индикатора баланса можно использовать два СИД или миниатюрные лампы накаливания.

Рассмотрим относительно простую схему (рис. 42) полуавтоматического экспозиметра с фоторезистором, имеющим коэффициент $\gamma < 1$. Линеаризация световой характеристики фоторезистора ФПФ9-2 осуществляется за счет логарифмического преобразования, т. е. ток фоторезистора логарифмируется, затем умножается на требуемый для линеаризации коэффициент и антилогарифмируется [11]. Эти операции производятся с помощью согласованной пары транзисторов $VT1$ и $VT3$.

Принцип работы устройства заключается в следующем.

Переменным резистором $R2$ «Баланс» добиваются равенства потенциалов на входах двух эмиттерных повторителей $VT5$ и $VT6$. Таким образом на фоторезисторе $R5$ обеспечивается постоянное падение напряжения, равное падению напряжения на СИД $H1$, который использован и в качестве индикатора включенного состояния устройства, и в качестве стабилитрона с напряжением стабилизации около 1,4 В. В данном случае нуль-органом служит гальванометр P , но с таким же успехом можно использовать электронный нуль-орган на СИД.

Очевидно, что в состоянии баланса ток фоторезистора равен коллекторному току транзистора $VT3$, а с освещенностью фоторезистора E этот ток $I_{кз}$ будет связан так:

$$I_{кз} = K_{\Phi} E \gamma,$$

где K_{Φ} — коэффициент преобразования.

В силу того, что падения напряжений на эмиттерных переходах транзисторов $U_{эб}$ связаны известной зависимостью с их эмиттерными токами $U_{эб} = \varphi_T \ln \frac{I_э}{I_{э0}}$ (φ_T — тем-

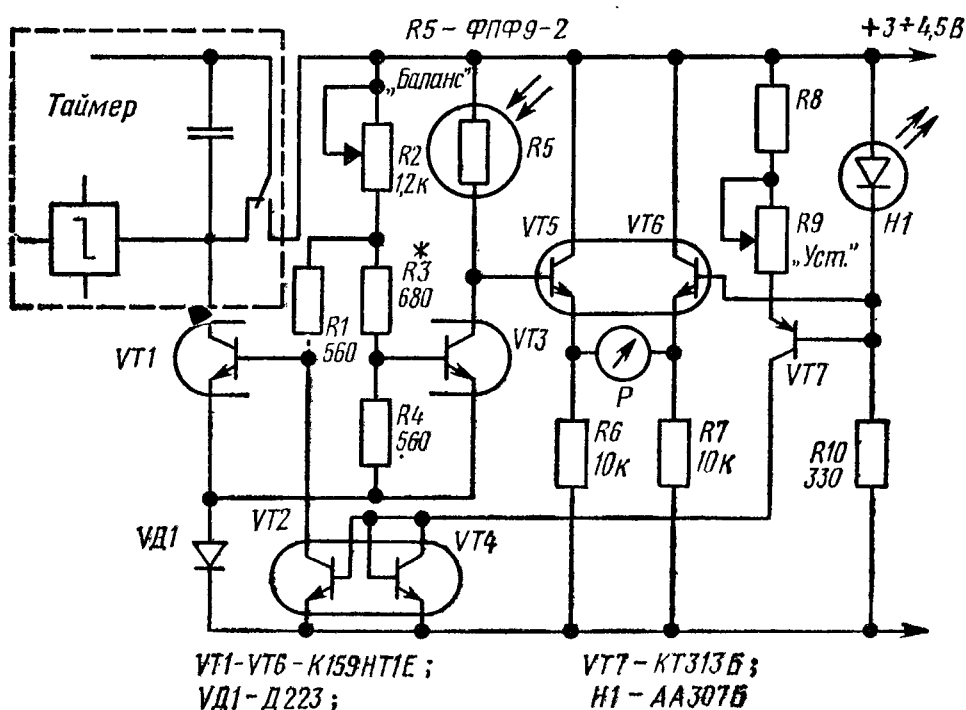


Рис. 42. Принципиальная схема полуавтомата для фотопечати

температурный коэффициент), то для данной схемы можно записать

$$\varphi_T \ln \frac{I_{91}}{I_{90}} = K \varphi_T \ln \frac{I_{93}}{I_{90}} - U_{R1},$$

где K — коэффициент деления резистивного делителя $R3, R4$; U_{R1} — падение напряжения на резисторе $R1$. Для согласованных транзисторов $VT1$ и $VT3$ I_{90} считаем одинаковыми.

Если осуществить известные преобразования, то получим

$$\ln I_{91} = \ln I_{93}^K - \ln I_{90}^{K-1} - \frac{U_{R1}}{\varphi_T}.$$

Учитывая, что коллекторные токи транзисторов практически равны их эмиттерным токам, то

$$I_{K1} = \frac{I_{K3}^K}{AB},$$

где

$$\ln B = \frac{U_{R1}}{\varphi_T}; \quad A = I_{90}^{K-1}.$$

Таким образом можно записать

$$I_{K1} = \frac{K_{\Phi} E^{\gamma \cdot K}}{AB}.$$

Отсюда видно, что за счет подбора K (с помощью переменного резистора $R3$) можно обеспечить $K\gamma=1$, т. е. пропорциональность коллекторного тока транзистора $VT1$ освещенности. С помощью переменного резистора $R9$ «Установка» можно менять ток I_{K2} (т. е. напряжение U_{R1}) и в логарифмическом масштабе вводить поправки на светочувствительность фотобумаги и устанавливать оптимальное значение времени экспозиции для пробного отпечатка.

Приведенная схема полуавтоматического экспозиметра с фоторезистором ФПФ9-2, имеющего $\gamma=0,56$, позволяла получить пропорциональную связь тока коллектора $VT1$ с освещенностью в диапазоне освещенностей от 0,1 до 1000 лк. При этом I_{K1} изменялся от 0,2 до 2000 мкА с погрешностью не более $\pm 20\%$.

Достоинство схемы заключается в отсутствии общего стабилизатора напряжения, а также в способности рабо-

тать от низковольтных источников питания с напряжением до 3,0 В.

Настройка устройства заключается в подборе сопротивления резистора $R3$, для чего на фоторезисторе необходимо создать заданную освещенность, например 2 лк, и с помощью балансировочного резистора $R2$ и резистора установки $R9$ установить нулевой ток через прибор P и ток коллектора, равный примерно 10 мкА. После этого надо увеличить освещенность фоторезистора в два раза (4 лк) и измерить коллекторный ток $VT1$, который при правильно подобранном сопротивлении резистора $R3$ должен так же увеличиться в два раза.

Порядок работы с полуавтоматическим экспозиметром

Вначале делают пробные отпечатки и подбирают оптимальное время экспозиции относительно наиболее ответственного места кадра с помощью резистора $R9$ «Установка», для чего предварительно в упомянутый участок кадра помещают фоторезистор и с помощью резистора $R2$ «Балансировка» устанавливают микроамперметр в нуль. Затем убирают фоторезистор и делают пробный отпечаток. В случае передержки уменьшают сопротивление резистора $R9$ «Установка», а в случае недодержки — увеличивают. Эти операции повторяют до получения оптимального времени экспозиции. Положение движка переменного резистора $R9$ фиксируют и в дальнейшей работе он не участвует.

Теперь для получения фотоснимков необходимо выполнить следующие операции: установить фоторезистор в ответственный участок кадра; резистором $R2$ сбалансировать схему; убрать фоторезистор; положить лист фотобумаги и запустить реле времени (таймер), которое отработает нужный интервал времени.

Вместо транзисторов К159НТ1Е можно использовать транзисторы из набора транзисторов серии К189 или подобранные по напряжению эмиттер-база и коэффициенту усиления β любые другие кремниевые транзисторы (КТ315, КТ312, КТ316, КТ342).

В рассмотренном экспозиметре можно использовать не только фоторезисторы, но и линейные фотоприемники — фотодиоды и селеновые фотоэлементы, если минимальные значения их световых токов превышают ток I_{90} транзисторов. Для кремниевых транзисторов указан-

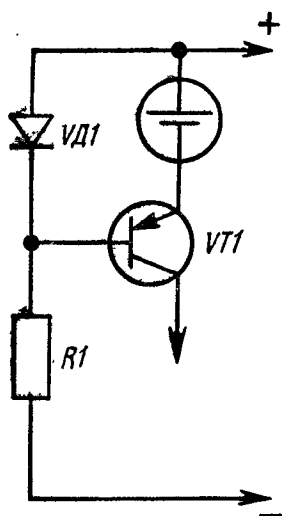


Рис. 43. Схема включения селенового фотоэлемента в режиме, близком к короткому замыканию

ный ток может быть ниже $0,05 \text{ мкА}$, а фотодиоды могут быть включены непосредственно в коллекторной цепи транзистора $VT3$. Селеновые фотоэлементы не могут работать при наличии смещающего напряжения, поэтому их необходимо включать так, как это показано на рис. 43, где фотоэлемент включен в эмиттерной цепи транзистора $VT1$, база которого смещена с помощью диода $VD1$. В результате к фотоэлементу прикладывается напряжение не более $50 \dots 100 \text{ мВ}$.

Очевидно, что в случае применения фотодиодов или фотоэлементов, обладающих линейной световой характеристикой в широком диапазоне освещенностей, коррекция не требуется и необходимость в резисторе $R3$ отпадает.

Следует отметить, что входное сопротивление эмиттерного повторителя на транзисторе $VT5$ будет уже недостаточно велико, поэтому следует применять или составной, или полевой транзистор.

ГЛАВА VI. АВТОМАТИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ФОТОПЕЧАТИ.

Автоматические устройства для фотопечати условно можно разбить на устройства автоматической обработки экспозиции с измерением освещенности в процессе отработки и устройства автоматической обработки экспозиции с предварительным измерением освещенности и запоминанием сигнала, соответствующего этой освещенности. Для сокращения записи назовем указанные устройства соответственно автоматы типа 1 и автоматы типа 2.

Автоматы типа 1 несложны по своей структуре и в простейшем случае представляют собой таймер с фотоприемником в качестве времязадающего элемента. Очевидно, что фотоприемник должен обладать линейной люкс-амперной характеристикой, например, можно взять фоторезистор типа ФПФ-7 или фотодиод в фотодиодном режиме.

Достоинство автоматов типа 1 заключается в том, что измерение освещенности осуществляется в процессе отработки экспозиции. Устройство автоматически обрабатывает все изменения освещенности фотобумаги, обусловленные, например, изменением напряжения в сети. Фотоприемник может располагаться под фотобумагой (как это делается в автоматическом экспозиметре типа «Рось») или у края кадрирующей рамки, воспринимая падающий световой поток или световой поток, отраженный от фотобумаги и собранный простейшим объективом на фотоприемной площадке.

Недостаток автоматов типа 1: при размещении фотоприемника у края кадрирующей рамки практически невозможно измерить освещенность в наиболее ответственном участке кадра. Ведь при измерении отраженного от фотобумаги света фотоприемник воспринимает интегральную освещенность с относительно большого участка кадра, ограниченного углом зрения объектива. А измеряя падающий световой поток, очень трудно размещать фотоприемник в участки кадра на краю кадрирующей рамки, освещенность которых равнялась бы освещенности наиболее ответственного участка кадра. Если в составе автомата есть экспозиметр, то освещенность в ответственном участке кадра можно измерять предварительно и устанавливать фотоприемник у края кадрирующей рамки в область с освещенностью, равной измеренной. Но в этом случае автомат типа 1 не имеет преимуществ перед автоматом типа 2 и даже перед полуавтоматическими устройствами.

Максимальным преимуществом автоматы типа 1 обладают при работе с ровными малоконтрастными негативами. При фотопечати контрастных негативов с большой неравномерностью плотности по полю кадра автоматы типа 1 могут дать существенную погрешность.

Автоматы типа 2 значительно сложнее автоматов типа 1, так как в их состав входит запоминающее устройство, которое необходимо для запоминания сигнала, соответствующего освещенности в наиболее ответственном участке кадра.

Работая с автоматом типа 2, сначала устанавливают фотоприемник в ответственный участок кадра и с помощью кнопки вводят в запоминающее устройство значение сигнала, соответствующее освещенности на этом

участке. После этого убирают фотоприемник, кладут лист фотобумаги и нажимают кнопку «Пуск» таймера, который отрабатывает интервал времени, соответствующий сигналу, хранящемуся в запоминающем устройстве. По существу работа с автоматом типа 2 аналогична работе с полуавтоматическими устройствами для фотопечати, в которых роль запоминающего устройства выполняет переменный резистор балансировки. Отличие заключается только в том, что в полуавтоматических устройствах балансировка осуществляется вручную, а в автоматах типа 2 — автоматически.

Недостаток полуавтоматов и автоматов типа 2 заключается в том, что от момента запоминания до момента окончания отработки времени экспозиции освещенность может измениться из-за нестабильности напряжения в сети. Однако этот недостаток может быть легко устранен, если увеличитель включать в сеть через стабилизатор напряжения.

Только с автоматом типа 2 (и полуавтоматами аналогичного принципа действия) можно получить оптимальный отпечаток независимо от качества и характера негатива.

СХЕМЫ АВТОМАТОВ ТИПА 1

Автомат типа 1 может быть создан практически с любым таймером, если фотоприемник с линейной люкс-амперной характеристикой включить в цепь заряда (или разряда) времязадающего конденсатора. Для этой цели подходит фоторезистор типа ФПФ-7, который при работе в диапазоне освещенностей от 0,1 до 10 лк позволяет получить удовлетворительную точность (погрешность менее 0,2 степени). Увеличение освещенности приводит к возрастанию погрешности из-за нелинейности резистора, причем при освещенности в сотни люкс погрешность может достигать 1 степени и более, т. е. больше 100%.

Рассмотрим один из путей коррекции нелинейности фоторезисторов в автоматических экспозиметрах.

На рис. 44 показана схема автомата типа 1 с фоторезистором типа ФПФ-7, погрешность которого в диапазоне освещенностей от 0,2 до 400 лк не превышает 0,2 степени [10]. Фоторезистор R_3 включен в эмиттер-

ную цепь составного транзистора ($VT1—VT2$), на базу которого с потенциометра $R1$ подается фиксированный потенциал, и выходной ток составного транзистора I_ϕ будет определяться сопротивлением фоторезистора. При размыкании ключа $S1$ этот ток потечет через резистор коррекции $R4$ и разряженный конденсатор $C1$ (входным током компаратора $A1$ пренебрегаем). Считая ток I_ϕ в процессе заряда конденсатора $C1$ постоянным, можно вывести формулу для определения времени задержки t_Δ включения компаратора:

$$t_\Delta = \frac{(U_n - U_{R4})C_1}{I_\phi},$$

где U_n — напряжение включения компаратора, которое для данной схемы определяется так

$$U_n = \frac{E}{R_5 + R_6} R_6;$$

U_{R4} — падение напряжения на резисторе $R4$, равное

$$U_{R4} = I_\phi R_4.$$

Можно заметить, что при малых уровнях освещенности ток I_ϕ мал и $U_{R4} \ll U_n$, т. е. на начальном участке светового диапазона коррекция практически не действует. При больших же уровнях освещенности величина сопротивления резистора $R4$ выбирается такой, чтобы максимально снизить погрешность отработки экспозиции, обусловленную нелинейностью фоторезистора.

Для иллюстрации действия такой коррекции на рис. 45 приведены три кривые зависимости времени экспозиции от освещенности: реальная — 1 (при $R_4 = 0$), идеальная — 2 и скорректированная — 3, из рассмотрения которых видно, что составляющая

$$\Delta = \frac{U_{R4}C}{I_\phi}$$

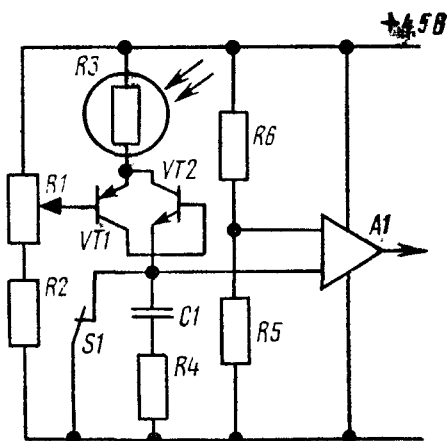


Рис. 44. Принципиальная схема автомата типа 1 с линеаризацией люкс-амперной характеристики фоторезистора

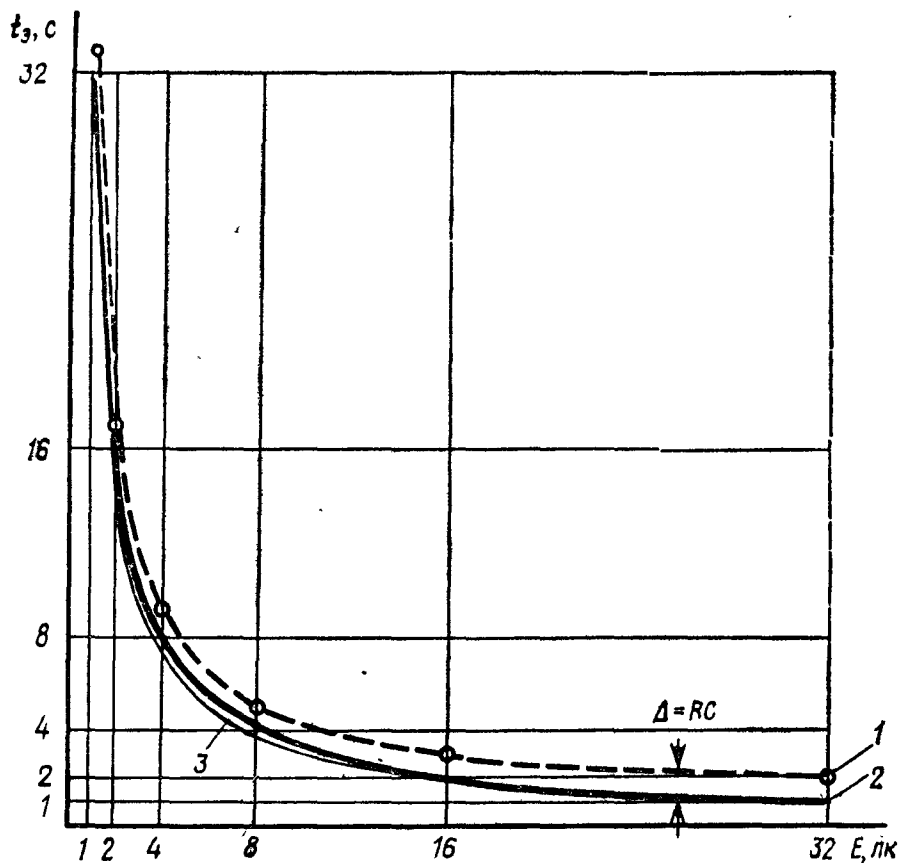


Рис. 45. Иллюстрация действия линеаризирующих элементов в автомате типа 1

весьма эффективна при больших уровнях освещенности и вносит несущественную погрешность при низких уровнях освещенности. Она компенсируется составным транзистором, дифференциальное выходное сопротивление которого обратно пропорционально коллекторному току I_{ϕ} . В результате составной транзистор дает существенную добавку тока при большой освещенности и практически не дает ее при малой.

Главным недостатком фоторезисторов в автоматах типа 1 является их инерционность, причем в отличие от фотоаппарата, где фоторезистор освещен практически постоянно, в устройствах для фотопечати фоторезистор в исходном состоянии затемнен и освещается только на время экспозиции. Правда, быстродействие фоторезистора с ростом освещенности растет, в результате чего постоянная времени обычно не превышает определенного (зависит от типа фоторезистора) процента от времени экспозиции.

Уместно отметить, что, используя автомат типа 1, построенный на базе фоторезистора, желательно работать по «уровню черного», т. е. исходить из максимального почернения фотоотпечатка в наиболее темных местах без появления вуали. Это означает, что фоторезистор необходимо помещать в наиболее освещенный участок проекции негатива. При правильно выбранном номере фотобумаги в этом случае будет гарантирована передача всех оттенков от белого до черного.

Но очевидно, что наилучшими характеристиками будет обладать автомат типа 1 с линейным фотоприемником — фотодиодом или селеновым фотоэлементом, включенным по схеме, показанной на рис. 43. При площади фотоприемной площадки этих фотоприемников (или площади входного зрачка объектива) $50 \dots 100 \text{ мм}^2$ их выходные токи лежат в диапазоне $0,2 \dots 200 \text{ мкА}$, что вполне достаточно для работы с компараторами на биполярных транзисторах, описанными ранее.

Однако, как уже говорилось, большая площадь фотоприемника не позволяет получить оптимальный отпечаток при большой неравномерности (контрастности) негатива, когда отработку экспозиции необходимо вести относительно мелких деталей изображения. Уменьшение же фотоприемной площадки значительно снижает чувствительность и сдвигает рабочий диапазон токов в область $10^{-10} \dots 10^{-7} \text{ А}$, и для построения экспозиметра приходится использовать высокочувствительные усилители и схемы. В этом случае выходные токи фотодиодов становятся соизмеримыми с темновыми токами, снижающими точность, и фотодиоды необходимо использовать в режиме, близком к короткому замыканию. Обычно такой режим обеспечивается с помощью операционных усилителей с малыми входными токами, например серий К544, К284, К140.

Два варианта включения фотодиода с операционным усилителем показаны на рис. 46. На рис. 46, а к фотодиоду приложено только напряжение смещения, которое не превышает $1 \dots 2 \text{ мВ}$. Весь ток фотодиода, работающего практически в режиме короткого замыкания, за исключением малого входного тока операционного усилителя, течет в интегрирующий конденсатор С. Для получения автомата типа 1 на выходе усилителя достаточно включить компаратор или триггер Шмитта с комму-

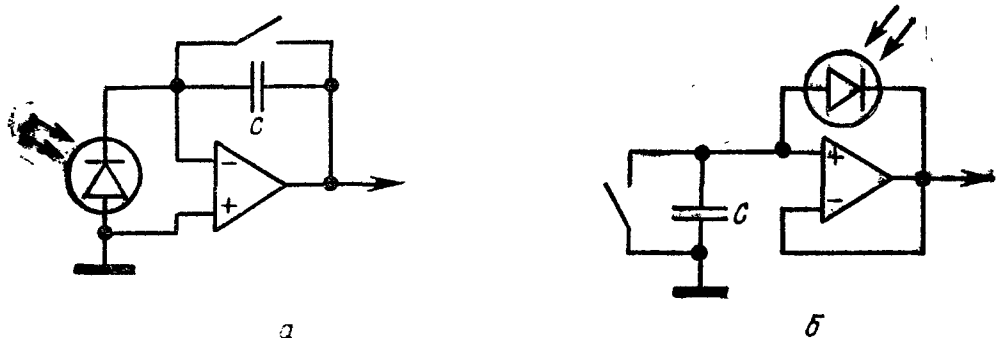


Рис. 46. Два варианта включения фотодиода с операционным усилителем:

а — между инвертирующим и неинвертирующим входом; *б* — между входом и выходом операционного усилителя, работающего в режиме повторителя напряжения

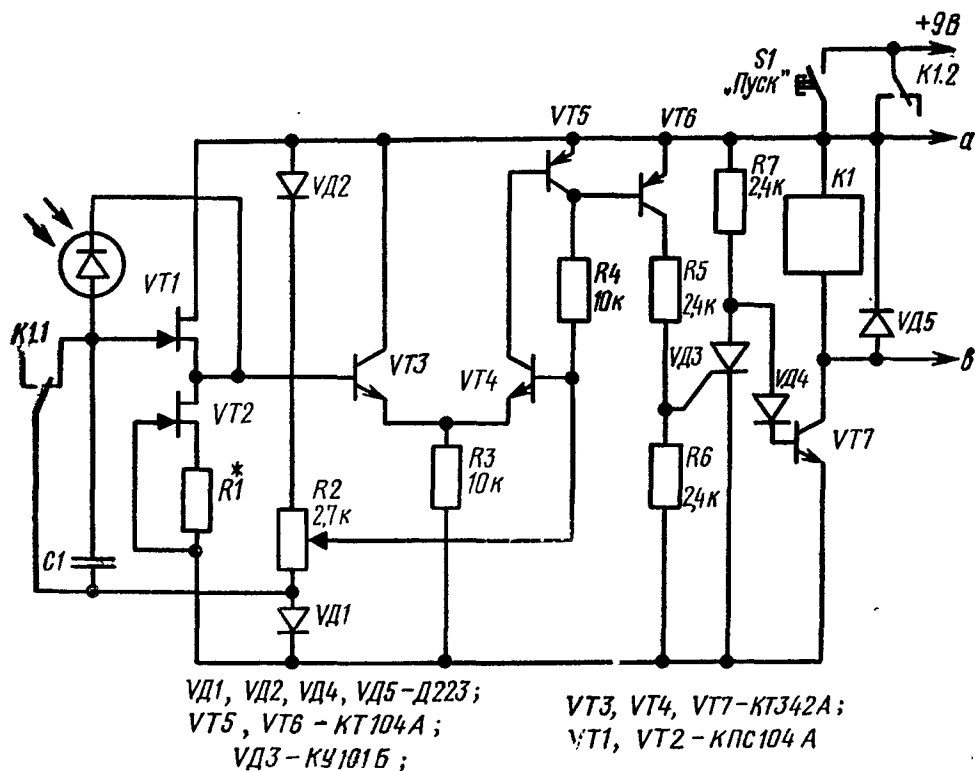


Рис. 47. Принципиальная схема автомата типа 1 с фотодиодом

татором. Схема рис. 46, *б* также обеспечивает фотодиоду режим короткого замыкания.

Однако применение операционных усилителей не всегда возможно из-за относительно высоких напряжений их питания. Ведь зачастую устройство питается от низковольтных батареек. Кроме того, применение операционных усилителей с малыми входными токами

(10^{-12} ... 10^{-10} А) в радиолюбительских приборах может оказаться экономически неоправдано из-за их высокой стоимости.

Если учесть, что к усилителям для автоматов типа 1 предъявляются высокие требования главным образом по входным токам, а не по точности (коэффициент усиления, напряжение смещения), то схемы усилителей можно строить и на базе доступных дискретных элементов.

На рис. 47. показана схема автомата типа 1 с фотодиодом. Здесь усилитель построен на базе истокового повторителя на полевом транзисторе $VT1$, в качестве нагрузки (динамической) которого использован согласованный с ним полевой транзистор $VT2$. Минимальное смещение между входом и выходом истокового повторителя обеспечивается подбором сопротивления резистора $R1$. Напряжение смещения между входом и выходом истокового повторителя может находиться в пределах 60 мВ при изменении входного напряжения от 1,5 до 7,5 В.

Диоды $VD1$ и $VD2$ ограничивают диапазон входных напряжений (на конденсаторе $C1$), так как при входном напряжении ниже 1... 1,5 В насыщается полевой транзистор $VT2$, а при 7... 8 В насыщается $VT1$, что приводит к резкому увеличению напряжения смещения.

К выходу истокового повторителя подключен один из входов уже рассмотренного компаратора на транзисторах $VT3$... $VT6$. Другой вход компаратора связан с потенциометром $R2$, с помощью которого можно задавать порог включения при настройке автомата на определенный тип фотобумаги.

Выход компаратора соединен с управляющим электродом тиристора $VD3$, предназначенного для блокировки входа транзистора $VT7$, в коллекторной цепи которого включена обмотка реле $K1$. К выходу устройства a — b можно подключить тиристорный (см. рис. 34) или иной коммутатор.

В исходном состоянии устройство отключено от источника питания и энергию не потребляет. При нажатии на кнопку «Пуск» на схему подается питание, транзистор $VT7$ включается, подавая напряжение на тиристорный коммутатор и включая реле $K1$, которое своими контактами $K1.2$ блокирует кнопку $S1$, а контактами $K1.1$ замыкает обкладки конденсатора $C1$. Последний начинает заряжаться током фотодиода. Когда напряжение на

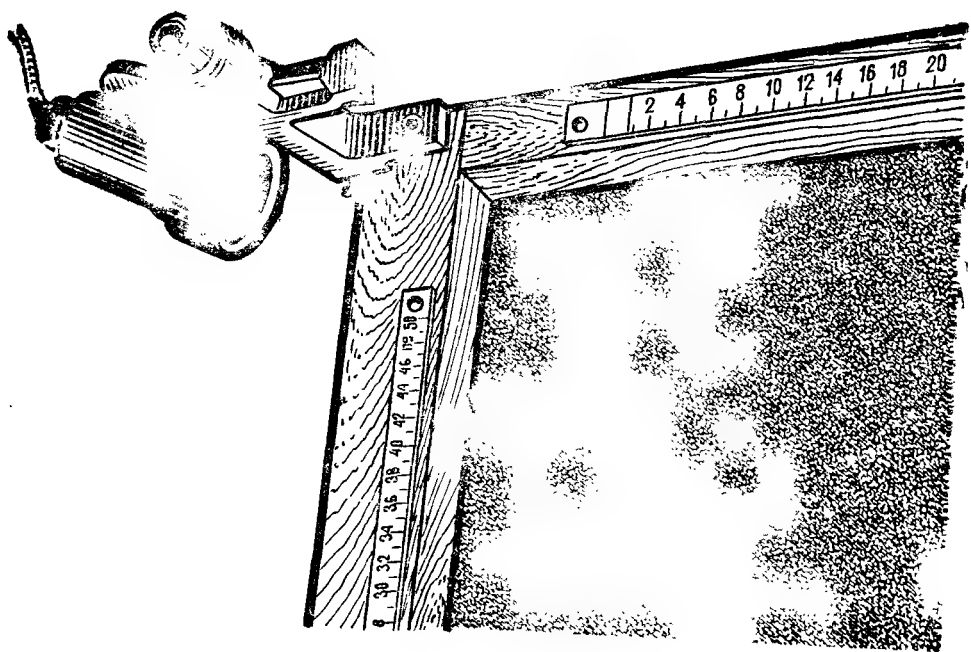


Рис. 48. Пример размещения фотодиода с объективом автомата типа 1 на кадрирующей рамке

истоте полевого транзистора $VT1$ сравнивается с напряжением на потенциометре $R2$, компаратор включит тиристор $VD3$, который, в свою очередь, закроет транзистор $VT7$. В результате этого включатся реле $K1$ и коммутатор. Если кнопка $S1$ остается в замкнутом состоянии, повторного срабатывания все же не произойдет, так как тиристор $VD3$ включен и в исходное состояние сможет вернуться только при отключении питания.

Величина емкости конденсатора $C1$ определяется токами фотодиода, которые, в свою очередь, определяются типом фотодиода, площадью его светоприемной площадки или диаметром входной линзы объектива. Например, фотодиод типа КФДМ, установленный за объективом с диаметром входного зрачка 25 мм, позволяет получить чувствительность 200 ... 300 нА/лк.

Пример размещения объектива с фотодиодом непосредственно на кадрирующей рамке с помощью универсального штатива для фотоаппарата показан на рис. 48. Установленный таким образом объектив не мешает работе, так как он поднимается вместе с рамкой, на которой закреплен жестко. Направление оси объектива всегда можно скорректировать и зафиксировать.

Сам электронный блок, связанный с фотодиодом экранированным проводом, можно хорошо разместить в

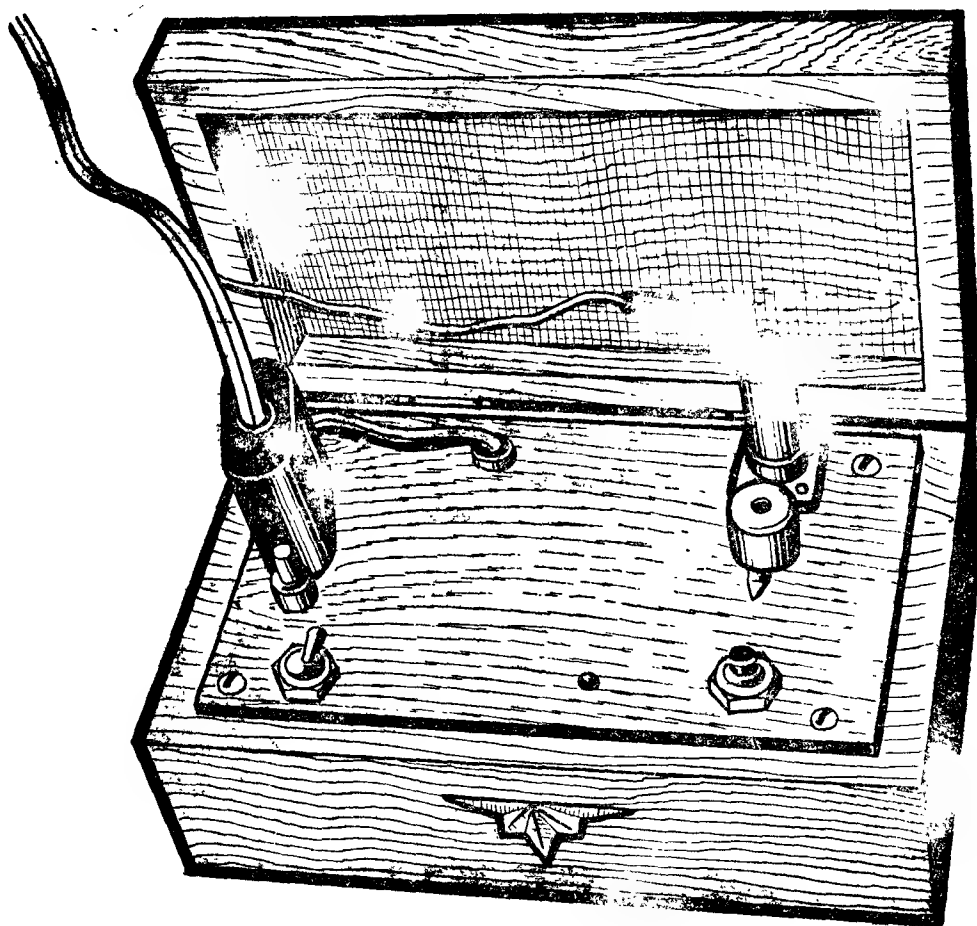


Рис. 49. Пример оформления автомата типа 1

декоративной шкатулке, как это показано на рис. 49. На панели находятся: ручка потенциометра $R2$, предназначенного для настройки автомата на заданную фотобумагу; разъем для подключения фотодиода; гнезда для подключения лампы увеличителя; индикатор включенного состояния автомата, в качестве которого использован светодиод типа АЛ307Б, включенный вместо диода $VD1$.

Настройка автомата, собранного согласно схеме на рис. 47, сводится к подбору сопротивления резистора $R1$ и емкости конденсатора $C1$.

Для подбора сопротивления затвор полевого транзистора $VT1$ отсоединяют и на него подают напряжение около 4 В. Сопротивление $R1$ изменяют таким образом, чтобы напряжение на истоке полевого транзистора $VT1$

превышало напряжение на его затворе не более чем на 10...20 мВ. После этого впаивают постоянный резистор $R1$, а затвор $VT1$ подпаивают согласно схеме.

Емкость конденсатора $C1$ подбирается следующим образом. На кадрирующую рамку кладут лист белой бумаги, диафрагмируя объектив увеличителя, устанавливают освещенность, соответствующую длительности выдержки (измеряемой экспозиметром для фотобумаги «Унибром») 3 с, потенциометр $R2$ ставят в среднее положение. Емкость $C1$ подбирается такой, чтобы обеспечить указанную выдержку.

Работая с автоматом, сначала путем пробных отпечатков на выбранной фотобумаге подбирают порог включения компаратора (устанавливают в необходимое положение потенциометр $R2$). После этого вся работа сводится к тому, что в рамку закладывают фотобумагу и нажимают кнопку «Пуск». Автомат включает лампу увеличителя на требуемое время.

Такой автомат с высокой линейностью позволяет получать выдержки от 0,5 до 200 с.

СХЕМЫ АВТОМАТОВ ТИПА 2

Высокоточная, но довольно сложная, схема автомата типа 2 приведена на рис. 50 [9]. Он построен на фоторезисторе типа ФПФ9-2 с $\gamma \approx 0,6$, предназначенном специально для применения в фотоаппарате и обладающем высокой точностью в диапазоне освещенностей от 0,1 до 1000 лк. У автомата наиболее широкие возможности из всех описанных ранее, так как в его состав входит: экспозиметр со стрелочным индикатором длительности выдержки и номера фотобумаги; таймер с коммутатором (на рис. 50 показан условно, так как эта часть схемы несущественна и выбор ее может быть произвольным) и с переключателем рода работ «Автомат-Ручной»; преобразователь, предназначенный для линеаризации световой характеристики, и запоминающее устройство.

Все это позволяет: измерять время экспозиции в диапазоне от 0,5 до 256 с; определять номер фотобумаги, требующейся для каждого негатива; устанавливать вручную длительность выдержки таймера; работать в режиме автомата типа 1 без использования запоминающего устройства; работать в режиме автомата типа 2

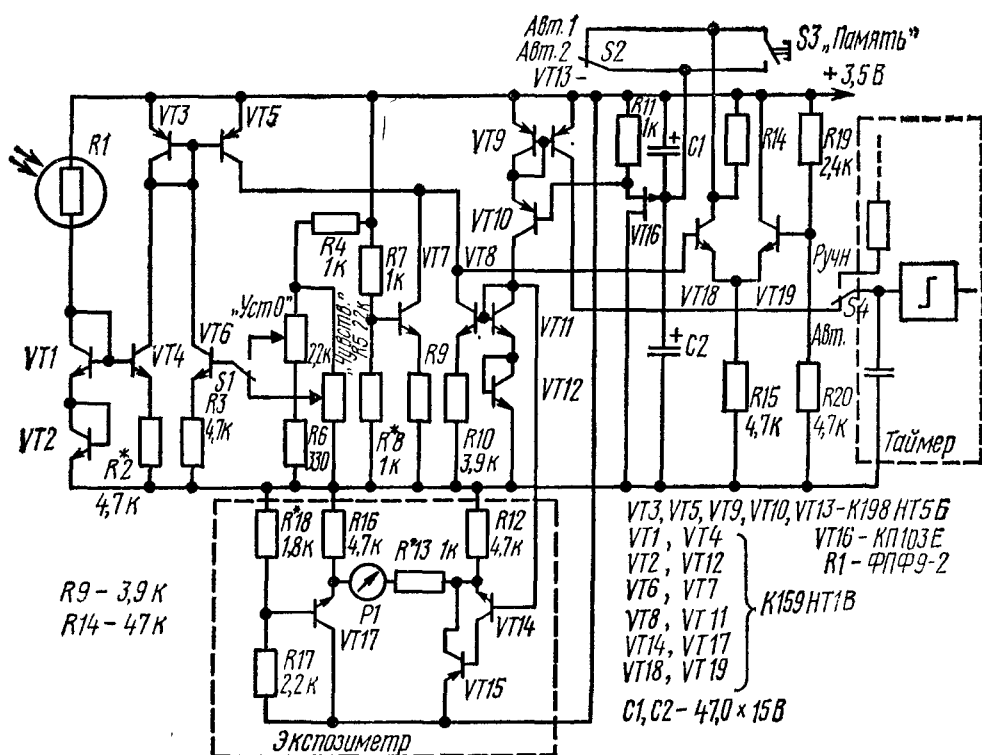


Рис. 50. Принципиальная схема автомата типа 2

с запоминанием сигнала об освещенности до 1 ... 2 мин и более.

Принцип действия

Для получения линейной зависимости выходного тока от освещенности в преобразователе осуществляется логарифмирование фототока фоторезистора $R1$ с помощью диодов $VT1$ и $VT2$, падение напряжения на которых преобразуется в ток коллектора транзистора $VT4$. Этот ток, пропорциональный логарифму освещенности, суммируется с коллекторным током транзистора $VT6$, предназначенного для ввода чувствительности фотобумаги или установки нуля при определении номера фотобумаги. Сумма токов поступает на вход «отражателя тока» на транзисторах $VT3$ и $VT5$. Коэффициент логарифмического преобразования фототока определяется сопротивлением резистора $R2$.

В свою очередь, коллекторный ток транзистора $VT8$ пропорционален логарифму выходного тока преобразователя, который равен входному току «отражателя тока»

на транзисторах $VT9$ и $VT13$. Коэффициент логарифмического преобразования выходного тока определяется сопротивлением резистора $R10$, на котором выделяется напряжение, соответствующее падению напряжения на логарифмирующих диодах $VT11$ и $VT12$. Выходной ток преобразователя задается током транзистора $VT10$, который управляется истоковым повторителем ($VT16$), связанным с выходом дифференциального усилителя на паре транзисторов $VT18$ и $VT19$. На один вход этого усилителя подается постоянное напряжение с выхода делителя $R19 - R20$, а другой вход связан с коллекторами транзисторов $VT5$ и $VT8$.

В результате действия обратной связи через дифференциальный усилитель коллекторный ток транзистора $VT8$ всегда поддерживается равным (в сумме с коллекторным током транзистора $VT7$, необходимого для установки рабочей точки автомата) коллекторному току транзистора $VT5$, который пропорционален логарифму освещенности.

Таким образом, в преобразователе всегда обеспечивается баланс, и приближенно можно записать

$$\frac{\varphi_T}{R_2} \ln \frac{I_\Phi}{I_{\text{эо}}} + I_{\kappa 6} = \frac{\varphi_T}{R_{10}} \ln \frac{I_{\text{вых}}}{I_{\text{эо}}} + I_{\kappa 7},$$

где I_Φ — ток фоторезистора; $I_{\text{вых}}$ — выходной ток преобразователя; $I_{\text{эо}}$ — начальные эмиттерные токи транзисторов, которые для всех транзисторов будем считать равными; $I_{\kappa 6}$ и $I_{\kappa 7}$ — коллекторные токи соответствующих транзисторов.

При $I_\Phi = K_\Phi E_T$ получаем, что

$$I_{\text{вых}} = BE \frac{R_{10}}{R_2} \gamma,$$

где B — коэффициент, определяемый K_Φ , $I_{\kappa 6}$ и $I_{\kappa 7}$.

Видно, что при $\gamma < 1$ R_{10} должно быть больше R_2 , чтобы обеспечить равенство

$$\frac{R_{10}}{R_2} \gamma = 1.$$

В этом случае выходной ток преобразователя, являющийся входным током таймера в автоматическом режиме работы, будет прямопропорционален освещенности.

Напряжение, пропорциональное логарифму выходного тока преобразователя, подается на вход экспозиметра, построенного по знакомой схеме (см. рис. 27).

Ключ $S2$ предназначен для переключения режимов работы автомата. Работая в режиме автомата типа 2, при нажатии кнопки «Память» преобразователь балансируется, а при отпускании этой кнопки на конденсаторах $C1$ и $C2$ (подключенных к разным шинам источника питания для взаимной компенсации токов утечки) запоминается напряжение, позволяющее сохранять значение выходного тока практически неизменным в течение 1 ... 2 мин. Переключатель $S4$ служит для переключения режимов работы таймера «Автомат» (при управлении выходным током преобразователя) и «Ручной» (при задании интервалов времени набором резисторов).

Вместо транзисторов $K159HT1E$ можно использовать любые маломощные кремниевые $n-p-n$ транзисторы, например: $KT315$, $KT312$, $KT301$, а вместо транзисторов $K198HT5B$ — любые маломощные кремниевые $p-n-p$ транзисторы, например $KT361$, $KT104$, $KT326$, $KT209$. Но пары транзисторов $VT3 - VT5$ и $VT9 - VT13$ необходимо подобрать по коэффициентам усиления, по току и падению напряжения на эмиттерном переходе.

Настройка прибора

Вместо резисторов $R2$, $R8$, $R13$ и $R18$ необходимо впаять потенциометры с соответствующими величинами сопротивлений. Коллектор транзистора $VT13$ через ограничительный резистор около 560 Ом подключить к микроамперметру с пределами измерения тока 0,5 ... 500 мкА. Осветить фоторезистор лампой увеличителя через максимально диафрагмированный объектив (например, диафрагма 16). С помощью переменного резистора $R8$ установить выходной ток преобразователя около 10 мкА. Увеличить освещенность фоторезистора в два раза, т. е. переключить диафрагму объектива увеличителя из положения «16» в положение «11». Выходной ток преобразователя при этом увеличится. Если он увеличился меньше, чем в два раза (с 10 мкА ток преобразователя должен увеличиться до 20 мкА), то сопротивление резистора $R2$ необходимо уменьшить, а если больше, чем в два раза, то — увеличить. Все операции по регулировке сопротивления $R2$ производят до тех пор,

пока не будет обеспечено удвоение выходного тока преобразователя при удвоении освещенности.

Для правильно подобранного сопротивления резистора R_2 пропорциональная связь выходного тока преобразователя должна наблюдаться во всем диапазоне изменения диафрагмы объектива увеличителя при минимальном и максимальном коэффициентах увеличения.

Следующий этап настройки — разметка потенциометра R_5 «Чувствительность». Для этого переключатель S_1 необходимо установить в положение «Чувствительность», а движок потенциометра R_5 — в верхнее положение, не доходя немного до конца (максимальный ток коллектора транзистора VT_6). Напротив указателя ручки потенциометра R_5 в данном положении сделать отметку для фотобумаги «Унибром» (можно сделать отметку 10 ед. ГОИ). С помощью переменного резистора R_8 установить при некоторой средней освещенности выходной ток преобразователя 100 мкА. Затем потенциометром R_5 уменьшить этот ток до 50 мкА и наметить риску для указания минимальной чувствительности фотобумаги «Унибром» (5 ед. ГОИ). В секторе от 10 до 5 ед. ГОИ можно сделать надпись «Унибром».

Потенциометром R_5 добиться выходного тока 90 мкА и сделать отметку «9 ед. ГОИ». В секторе 5 — 9 ед. ГОИ написать «Портретная». Установить выходной ток 80 мкА, сделать отметку «8 ед. ГОИ» и обозначить ее «Фотобром». Установить выходной ток 60 мкА, сделать отметку «6 ед. ГОИ» и обозначить «Бромпортрет». Установить выходной ток 10 мкА, сделать отметку «1 ед. ГОИ» и обозначить «Контабром». Установить выходной ток 4 мкА, сделать отметку «0,4 ед. ГОИ» и обозначить «Иодоконт», «Фотоконт».

Для подбора сопротивления резистора R_{13} стрелочный прибор должен иметь уже размеченную согласно рис. 24 шкалу. Величина сопротивления R_{13} подбирается изменением освещенности фоторезистора в два раза (переключения диафрагмы, например, из положения 5,6 в положение 8). С помощью переменного резистора R_{18} стрелку прибора следует установить, например, напротив «4 с» при диафрагме 5,6, а при диафрагме 8 — «8 с».

После подбора сопротивления R_{13} выход преобразователя надо подпаять ко входу таймера. Подбирая сопротивление R_8 , необходимо взять фотобумагу «Бромпортрет». Установить потенциометр R_5 в положение

«Бромпортрет» и, увеличивая от минимума время экспозиции, экспонировать фотобумагу до появления четкого почернения без признаков вуали. После этого можно измерить сопротивление $R8$ и заменить его постоянным.

Полученное время экспозиции надо измерить с достаточной точностью и с помощью переменного резистора $R18$ установить соответствующие показания стрелочного прибора ($P1$) экспозиметра. Измерить сопротивление $R18$ и заменить его на постоянное.

Порядок работы с автоматом

1. *Определение номера фотобумаги* (переключатель $S1$ должен находиться в положении «Уст. 0»).

Сначала фоторезистор установить в самый темный участок проекции негатива и с помощью потенциометра «Уст. 0» перевести стрелку прибора $P1$ в нулевое положение по шкале номеров фотобумаги. Затем фоторезистор поставить в самый светлый участок. Отклонение стрелки прибора будет соответствовать номеру требующейся для данного негатива фотобумаги.

2. *Определение времени экспозиции* (переключатель $S1$ должен находиться в положении «Чувствительность», а потенциометр «Чувствительность» — в зоне чувствительности выбранного типа фотобумаги). Для фотобумаг с большим разбросом светочувствительности («Унибром», «Портретная») необходимо подобрать положение потенциометра «Чувствительность» с помощью пробных отпечатков, добиваясь максимального почернения отпечатка при минимуме вуали; переключатель $S2$ надо поставить в положение «Автомат-1». После этих предварительных операций можно измерять время экспозиции, помещая фоторезистор в наиболее светлый участок проекции негатива (рекомендуется работа по «уровню черного», т. е. относительно максимума почернения).

Предварительное определение экспозиции полезно с той точки зрения, что можно всегда с помощью диафрагмы объектива фотоувеличителя или тиристорного регулятора мощности лампы увеличителя подогнать время экспозиции в наиболее удобный диапазон (2 ... 3 с).

3. *Работа в режиме автомата типа 1* ($S2$ должен находиться в положении «Автомат-1», а $S4$ — в положении «Автомат»). Фоторезистор установить вне поля кадра

на участок с освещенностью, соответствующей наибольшей освещенности проекции негатива внутри кадра, и нажать кнопку «*Пуск*» таймера, который автоматически отработает требуемое время экспозиции.

4. Работа в режиме автомата типа 2 (переключатель S2 должен быть установлен в положение «*Автомат-2*»).

Перед тем как положить лист фотобумаги, фоторезистор следует поместить в наиболее освещенный участок проекции негатива и нажать кнопку «*Память*». Экспозиметр покажет требуемое время экспозиции. При отпускании кнопки «*Память*» показания экспозиметра должны сохраниться. После этого можно класть лист фотобумаги и производить экспонирование.

Автомат типа 2 удобен еще тем, что можно сделать несколько отпечатков при одном измерении (в течение всего времени памяти, определяемого утечками конденсаторов C1 и C2).

Литература

1. Алексеев М. Д., Красовский Е. А. Фоторезисторы.— М.: Советское радио, 1973.
2. Блохин Ю. Полуавтомат для печати.— В кн.: В помощь радиолюбителю.— М.: ДОСААФ, 1979.
3. Крауш Л. Я. Фотографические материалы.— М.: Искусство, 1971.
4. Олеск А. О. Фоторезисторы.— М.-Л.: Энергия, 1966.
5. Соболева Н. А., Меламид А. Е. Фотоэлектронные приборы.— М.: Высшая школа, 1974.
6. А. с. № 720400 (СССР) Экспонометр / Чурбаков А. В., Савенков Б. Я.— Оpubл. в бюл. «Открытия. Изобретения. Пром. образцы. Товарные знаки», 1980, № 9.
7. А. с. № 706812 (СССР) Электронный затвор / Чурбаков А. В.— Оpubл. в бюл. «Открытия. Изобретения. Проб. образцы. Товарные знаки», 1979, № 48.
8. А. с. № 847250 (СССР) Экспонометр / Чурбаков А. В.— Оpubл. в бюл. «Открытия. Изобретения. Пром. образцы. Товарные знаки», 1981, № 26.
9. А. с. № 794585 (СССР) Автоматическое экспонометрическое устройство / Чурбаков А. В., Савенков Б. Я.— Оpubл. в бюл. «Открытия. Изобретения. Пром. образцы. Товарные знаки», 1981, № 1.
10. А. с. № 857912 (СССР) Автоматический фотозатвор / Чурбаков А. В.— Оpubл. в бюл. «Открытия. Изобретения. Пром. образцы. Товарные знаки», 1981, № 31.
11. А. с. № 862106 (СССР) Полуавтоматическое устройство для управления электронным затвором фотоаппарата / Чурбаков А. В.— Оpubл. в бюл. «Открытия. Изобретения. Пром. образцы. Товарные знаки», 1981, № 33.
12. Чурбаков А. В. Фотоэкспозиметр на транзисторах и тринисторе.— Радио, 1976, № 9.
13. Чурбаков А. В. Тиристорный регулятор.— Приборы и техника эксперимента, 1975, № 4.

Тип фоторезистора		$P_{\text{макс}}, \text{Вт}$	$U_p, \text{В}$	$R_T,$ МОм, не менее	$I_T, \text{мкА}$		$I_{\Phi}, \text{мА},$ среднее значе- ние	R_T/R_e		$S_{\text{ннт}},$ А/лм
					минималь- ное значе- ние (ТУ, ГОСТ)	сред- нее значе- ние		минимальное значение (ТУ, ГОСТ)	среднее значение	
Сернистокадмиевые	ФСК-1а	0,125	50	3,3	15	5	2	100	400	2,8
	ФСК-1	0,125	50	3,3	15	5	2	100	400	2,8
	ФСК-2	0,125	100	3,3	30	10	1	20	100	0,5
	ФСК-4а	0,125	25	1,6	30	5	2	50	400	3,0
	ФСК-5	0,05	50	10	5	1	1	17	1000	5,0
	ФСК-6	0,2	50	3,3	15	5	2	100	400	0,28
	ФСК-7а	0,35	50	0,5	100	10	3	3,5	50	0,15
	ФСК-7б	0,35	10	0,1	100	10	3	8,0	300	3,6
	ФСК-Г7	0,35	50	5	10	5	2	100	400	0,7
	ФСК-Г1	0,12	50	3,3	15	5	2	100	400	2,1
	ФСК-Г2	0,2	50	1,6	30	10	4	83	800	2,1
	ФСК-П1	0,1	100	100	1	0,01	2	1000—2000	200000	4,8
	СФ2-1	0,01	15	15	1	0,5	1	500	2000	10
	СФ2-2	0,05	2	2	1	0,5—0,2	1,5	500	3000	0,36
	СФ3-2	0,1	5	5	1	0,5	2	500	4000	—
Селенистокадмие- вые	ФСК-М1	$(3-6) \times 10^{-2}$	70	700	—	0,1	0,3	—	10^3-10^6	0,5—3
	ФСК-М2	$(3-6) \times 10^{-2}$	70	70	—	1	1	—	10^3-10^6	3—10
	ФСД-1а	0,05	20	2	10	1	3	150	2000	15
	ФСД-1	0,05	20	2	10	1	3	150	2000	15
	ФСД-Г	0,05	20	2	10	1	3	150	2000	15
	СФ3-1	0,01	15	30	0,5	0,01	1,5	1500	150000	20

Примечания: 1. Параметры фоторезисторов ФСК-7а, ФСК-7б и ФСК-Г7 соответствуют одной половине фоторезистора.

2. Световой ток определен через 15 с после воздействия 200 лк; темновой ток определен через 30 с после снятия освещенности.

Фотоприемники

Тип фото-приемника	l, мм	d, мм	m, г	A _{эфф} , мм	U _p , В	I _T , мкА	S _λ , мА/лм	I _T , мкА, при T°C						R _{изол} , МОм	Постоянная времени τ, с	S _λ , мкА/лк		
								40	50	60	75	80	-50			при относительной влажности 95—98% в течение 40 ч	при вибрации	при линейном ускорении
ФД-1	18	8,2	0,9	5	15	30	≥20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
ФД-2 (гр. 1)	22× ×10× ×15	—	0,5	1	30	25	≥20	40	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
ФД-2 (гр. 2)	2,2× ×10× ×15	—	0,5	1	30	25	15—19	40	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
ФД-3	9	3,85	0,42	2	10	10	≥15	—	—	110	—	—	—	—	—	—	—	—
ФД-3а	9	3,85	0,42	2	10	10	—	—	—	65	—	—	—	50	3-5×10 ⁻⁶	—	—	—
ФД-5Г	10	8	1	2,5	15	≥8	≥25	≤40	—	—	—	—	—	≤100	—	≥25	≥25	≥25
ФД-6к	14	5,5	1,6	2	20	1	1,4×10 ⁻² мкА/лк	—	—	—	7	—	—	100	—	1,4×10 ⁻²	1,4×10 ⁻²	1,4×10 ⁻²
ФД-7к	6,5	19,6	6,8	78	27	5	0,47 мкА/лк	—	—	—	30	—	—	50	—	0,47	—	—
ФД-9Э111А	17,1	8	2,5	1	10	≤10	17	—	≤80	—	—	—	—	≥100	1,2×10 ⁻⁷	—	—	—
ФД-9Э111Б	17,1	3	2,5	1	10	≤20	17	—	—	—	—	—	—	≥100	2×10 ⁻⁷	—	—	—
ФД-9Э111Г	17,1	8	2,5	1	10	≤25	—	—	40%	—	—	—	70%	≥100	2,5×10 ⁻⁷	—	—	—
ФД-9К	9	11	1,6	19,6	10	10	3	—	25	—	—	—	—	—	—	3	3	—
КФДМ	12	3,87	0,8	2	20	1	1,5×10 ⁻² мкА/лк	—	—	—	3,5	—	—	100	3,5×10 ⁻²	1,5×10 ⁻²	1,5×10 ⁻²	1,5×10 ⁻²

Тип фото- прием- ника	l , мм	d , мм	m , г	$A_{эфф}$, мм	U_0 , В	I_T , мкА	S_λ , мА/лм	I_T , мкА, при $T^\circ\text{C}$						$R_{изол}$, МОм	Постоянная времени τ , с	S_λ , мкА/л к		
								40	50	60	75	80	-50			при отно- сительной влажности 95—98% в течение 40 ч	при вибра- ции	при линей- ном уско- рении
ФТГ-3	6,3	8,7	1,6	3	5	<50	1000	—	—	—	—	—	—	—	—	>1000 $\geq 0,4$	≥ 1000	—
ФТ-1К	10	3,9	0,42	2	5	≤ 3	$\geq 0,4$	—	—	—	30	—	—	≥ 100	—	мкА/лк	—	—
ФТ-1К (гр. 2)	10	3,9	0,42	2	5	≤ 1	$\geq 0,2$ мкА/лк	—	—	—	20	—	—	≥ 100	—	$\geq 0,2$ мкА/лк	—	—

Примечание. $A_{эфф}$ — размер фоточувствительной площади.

**Черно-белые фото- и киноплёнки (негативные, позитивные и
обращаемые) общего назначения**

Название фотоплёнки	Величина светочувствительности, ед. ГОСТа		Коэффициент пространствен- ности γ	Фотографиче- ская широта L	Вуаль	Разрешающая способность R
	дневной свет	лампа нака- ливания				
«Фото-32»	28—55	20—40	0,8	1,5	0,05	116
«Фото-65»	55—110	40—80	0,8	1,5	0,10	92
«Фото-130»	110—220	80—200	0,8	1,5	0,15	75
«Фото-250»	220—500	300—550	0,8	1,5	0,20	70
КН-1	11	—	0,65	1,5	0,10	135
КН-2	32	—	0,65	1,5	0,12	100
КН-3	90	—	0,65	1,5	0,15	80
КН-4 (ВЧ)	350	—	1,0	1,5	0,20	75
МЗ-3 (позитив)	—	5	2,8—3,2	—	0,05	100
ОЧ-45	45	32	1,4	0,9	—	85
ОЧ-Т-45	45	32	1,1	1,05	—	80
ОЧ-180	180	250	1,3	0,9	—	73
ОЧ-Т-180	180	250	1,1	1,05	—	73

Черно-белые фотопленки для репродукции

Название фотопленки	Светочувствительность, ед. ГОСТа	Коэффициент конт- растности γ	Вуаль D_0	Разрешающая спо- собность R
ФТ-Ю	10—22	1,3	0,10	100
ФТ-20	4	2,0—2,8	0,10	100
ФТ-30	1,4	3,2	0,06	110
ФТ-11	16	1,0	0,10	100
ФТ-31	1,4	3,2	0,08	110
ФТ-12	65	1,0	0,15	73
ФТ-22	16	2,0—2,8	0,12	100
ФТ-32	16	3,2	0,08	110
«Микрат-200»	5—10	3,0	0,02	200
«Микрат-300»	2—3	4,5	0,03	300
ФЧ-К, ФЧ-М	0,1	3,0	0,05	100
«Микрат-позитив»	0,02	2,7	0,06	350

Черно-белые фотопленки для репродукции

Название фотопленки	Светочувствительность, ед. ГОСТа	Коэффициент конт- растности γ	Вуаль D_0	Разрешающая спо- собность R
ФТ-10	10—22	1,3	0,10	100
ФТ-20	4	2,0—2,8	0,10	100
ФТ-30	1,4	3,2	0,06	110
ФТ-11	16	1,0	0,10	100
ФТ-31	1,4	3,2	0,08	110
ФТ-12	65	1,0	0,15	73
ФТ-22	16	2,0—2,8	0,12	100
ФТ-32	16	3,2	0,08	110
«Микрат-200»	5—10	3,0	0,02	200
«Микрат-300»	2—3	4,5	0,03	300
ФЧ-К, ФЧ-М	0,1	3,0	0,05	100
«Микрат-позитив»	0,02	2,7	0,06	350

Черно-белые негативные фотопленки зарубежных фирм

Название фотопленки	Светочув- ствитель- ность, ДИН	Коэффициент конт- растности γ
ОРВО NP-15	15	0,65—0,8
ОРВО NP-20	20	0,6—0,8
ОРВО NP-27	27	0,6—0,8
«Фортепан-27»	17	0,9
«Фортепан-30 Супер»	20	0,8—0,9
«Фортепан-34 Рапид»	23	0,8—0,9
«Фортепан-37 Ультрарапид»	26	0,8
«Фотопан-F»	18	0,6—0,8
«Фотопан-S»	22	0,6—0,8
«Фотопан-U»	26	0,6—0,8
«Изопан IFF»	15	0,7
«Изопан IF»	17	0,7
(«Перутц 17»)		
«Изопан ISS»	21	0,7
(«Перутц 21»)		
«Изопан Ультра»	27	0,7
(«Перутц 27»)		
«Изопан Рекорд»	32	0,7
«Панатомик X»	—	0,8
«Плюс X пан»	—	0,8
«Три X пан»	—	0,6
«Рояль X пан»	—	0,75

Фотобумаги зарубежных фирм

Фирма и страна	Название	Градации по контрастности	Тон изображения
«Фотон» (Польша)	«Бром»	Мягкая, нормальная, контрастная, особо-контрастная	Черный
	«Портрет Репид»	Нормальная, контрастная	
	«Хлор»	Мягкая, нормальная, контрастная, особо-контрастная, сверхконтрастная	
«Форте» (Венгрия)	«Хлор В»	Мягкая, нормальная, контрастная	Сине-черный
	«Ротанс»,	Мягкая, нормальная, контрастная, особо-контрастная	
	«Бромфорт»	Мягкая, нормальная, контрастная, особо-контрастная	Коричнево-черный
	«Фортезо»	Мягкая, нормальная, контрастная	
	«Портура»	Нормальная	
«Форте» (Венгрия)	«Портурекс»	Нормальная	Темно-коричневый
	«Фортуто»	Нормальная	Коричневый
	«Вердита»	Нормальная	Черный
«Кодак-Пате» (Франция)	«Кодаброд»,	Мягкая, нормальная, контрастная, особо-контрастная	Темно-зеленый
	«Кодеско»	Мягкая, нормальная, контрастная, особо-контрастная	Черный
	«Кодюра»	Мягкая, нормальная, контрастная	Черный

Электромагнитные реле

Тип реле	Паспорт	Сопротивление обмотки, Ом	Ток срабатывания, мА	Рабочее напряжение, В	Коммутируемые ток, А, напряжение, В (переменные)
РЭС32	РФ4.500.341	180	36	12	0,5 220
	РФ4.500.342	650	20	23	
	РФ4.500.343	700	21	30	
	РФ4.500.344	2500	10	48	
	РФ4.500.345	2800	11	60	
РЭС54	ХП4.500.010	4000	3	27	0,2 220
	ХП4.500.011	4000	3,6	28	
РЭС59	ХП4.500.020	2000	2,4	10	1,0 127
	ХП4.500.021	130	11	2,5	
РЭС48	РС4.590.201	600	23	25	3,0 150
	РС4.590.202	400	52	15	
	РС4.590.203	320	30	18	
	РС4.590.204	40	80	7	
	РС4.590.205	8000	7,2	100	
	РС4.590.206	1300	15,2	45	
	РС4.590.207	600	24,8	27	
	РС4.524.371	4000	8	—	
РЭС34	РС4.524.372	600	21	27	0,5 115
	РС4.524.373	110	47	10	
	РС4.524.374	42	75	6	
	РС4.524.380	1500	13,5	—	
	РФ4.500.408	620	23	27	
РЭС47	РФ4.500.409	170	42	12	0,3 115
	РФ4.500.417	620	21,5	27	
	РФ4.500.419	170	42	13	
	РФ4.500.421	40	86	7	
	РС4.569.436	1600	8,4	27	
РЭС60	РС4.569.437	800	12,4	18	0,15 120
	РС4.569.438	270	22,5	13	
	РС4.569.439	58	51	6	
	РС4.569.440	35	60	4	

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Глава I. Фотоприемники для кинофотоаппаратуры	5
Фоторезисторы	5
Фотодиоды	13
Глава II. Краткие сведения о фотографических материалах	18
Глава III. Принципы построения электронных устройств для фотопечати	26
Классификация электронных устройств для фотопечати	26
Основные блоки электронных устройств для фотопечати	27
Глава IV. Неавтоматические устройства для фотопечати	29
Экспозиметры прямого отсчета	29
Экспозиметры компенсационного типа	45
Реле времени (таймеры) с выходным коммутатором	51
Глава V. Полуавтоматические устройства для фотопечати	60
Полуавтоматические устройства для фотопечати с приоритетом по времени экспозиции	61
Полуавтоматические устройства для фотопечати с приоритетом по освещенности	64
Глава VI. Автоматические устройства для фотопечати	70
Схемы автоматов типа 1	72
Схемы автоматов типа 2	80